



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Manresa

Diseño de la electrónica para un coche de Formula Student

Proyecto 413

10 de enero de 2020

trabajo de fin de grado que presenta

DAVID MARTÍN SERRANO

en cumplimiento de los requisitos para conseguir el

GRADO DE INGENIERÍA EN SISTEMAS TIC

Dirección: Jordi Bonet Dalmau

Esta obra está sujeta a una licencia Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain de Creative Commons. Para ver una copia, visitad <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/deed.ca> o enviad una carta a Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.

Si no explota, no vale la pena

Resumen

En este proyecto se explica como se ha diseñado una parte de la electrónica de control para el coche de formula student de combustión en la temporada 2020 del equipo de Dynamics UPC Manresa.

La electrónica que se ha diseñado cumple los siguientes puntos:

- Control del embrague y del cambio de marchas.
- Envío y recibo de información a través del bus CAN.
- Control de las luces indicadores que están en el salpicadero.
- Captación de datos como la velocidad del coche, temperatura del refrigerante o estado de los muelles en las suspensiones.
- Cumplimiento de la normativa de la formula student.

Este proyecto ha sido realizado con la idea de que pueda ser aprovechable para las futuras temporadas y sea fácilmente entendible por las personas nuevas que puedan entrar al equipo. También se ha realizado este proyecto evitando entrar en temas concretos de motores a combustión, permitiendo de esta manera que este proyecto pueda ser fácilmente utilizado tanto en un coche de combustión como eléctrico.

Finalmente, también se busca motivar a los compañeros electrónicos, y enseñarles que por muy grande que parezca un proyecto, si este se estructura y se diseña por bloques se puede hacer de manera sencilla.

Abstract

In this project we will explain how we designed a part of the electronic control of a combustion formula student car for the competitions during the year 2020 with the Dynamics UPC Manresa team.

The designed electronics controls the following systems:

- Control of the clutch and the gearshift.
 - Send and receive information through the bus CAN.
 - Control of the indicators in the dashboard.
 - Obtain the values of the sensors as the wheel speed, the coolant temperature or the condition of suspension springs.
- Formula student rules compliance. This project was made with the idea we can profit it for the future years and be easily understood by the new person that will join in the team. Also we made that project avoiding work with motor combustion specific things. In that way, we will be able to use this electronics both in a combustion and electric car.

Finally, it also seeks to motivate electronic partners, and teach them no matter how large a project looks, if it is structured and designed in blocks, it can be done in a simple way.

Índice

Resumen	i
Abstract	i
1 Introducción	1
2 Requerimientos del proyecto	5
3 Puntos importantes del reglamento	7
3.1 Sistema de acelerador electrónico	7
3.2 Sensor de aceleración del pedal	9
3.3 Señales críticas	11
4 Visión general de la electrónica	13
4.1 Visión general	14
5 Sistema de alimentación	25
5.1 Diseño electrónico	26
6 Sistema de CAN	35
6.1 Diseño electrónico	36
7 Sistema del volante	39
7.1 Diseño electrónico	40
8 Sistema del embrague	43
8.1 Diseño electrónico	44
9 Sistema de cambio de marchas	49
9.1 Diseño electrónico	51
10 Sistema de sensores	55
10.1 Diseño electrónico	56
11 Sistema del salpicadero	61
11.1 Diseño electrónico	62
12 Sistema de ETC	71
12.1 Diseño electrónico	72
13 Sistema de serie a paralelo	77
13.1 Diseño electrónico	77

14 Sistema del microcontrolador	79
14.1 Diseño electrónico	79
15 Circuito impreso	83
16 Firmware	85
16.1 Módulos del código	85
16.2 Funcionamiento en bloques	86
16.3 Puntos importantes a tener en cuenta	88
17 Conclusiones	91
18 Trabajo futuro	93
Bibliografía	95

1 Introducción

Desde el año 2016 en la universidad politécnica de Manresa (EPSEM) se ha llevado un proyecto gestionado por alumnos del propio centro llamado *Dynamics UPC Manresa*. Este proyecto se basa en diseñar y fabricar un coche de *Formula Student*.

Estos coches siguen unas directrices marcadas en unos reglamentos que se actualizan cada año e indican como deben de ser diseñados. Entre estas normas podemos encontrar tanto reglas para dimensionar el tamaño del coche, para aplicar medidas de seguridad o como comportarse durante la competición. Estos eventos se realizan a nivel mundial y en cada una de ellas alumnos de todas las universidades realizan su propio monoplaza (de combustión, eléctrico o sin conductor) y compiten entre ellos tanto a nivel técnico como teórico. Entre las pruebas que se realizan en estos eventos se encuentran los siguientes:

- **Documentación sobre diseño** Todas las decisiones de diseño deben de documentarse y justificarse. Durante el *design* cada equipo tiene que mostrar su documentación y ser capaz de justificar todas las preguntas que progonga el jurado.
- **Documentación sobre costes** En esta parte de la competición los jurados evalúan la documentación del equipo acerca de los costes de cada una de las piezas y procesos del coche.
- **Proyecto de empresa** Se tiene que diseñar y proponer un plan de empresa que contenga el coche como parte fundamental. A diferencia de las otras dos partes, aquí únicamente realizan la presentación dos personas delante de un jurado de tres expertos.
- **Pruebas en pista** A parte de la documentación, hay una parte de puntos que dependen del rendimiento del coche en las pruebas de pista. Entre estas pruebas podemos encontrar pruebas de aceleración en una recta o pruebas de eficiencia realizando varios kilómetros.

Se debe tener en cuenta que antes de poder competir, los jueces revisan punto por punto la normativa y verifican que el monoplaza cumple las condiciones para competir. Es por ello muy importante seguir el reglamento, ya que es posible que un simple tornillo de un tipo diferente al permitido, haga que todo un equipo se quede sin correr durante la competición.

En este documento se seguirán las normas descritas en el reglamento de la *Formula Student Germany 2020 Version 1.0*.

Con este proyecto se espera establecer una base electrónica para que los siguientes años del equipo de *Dynamics UPC Manresa* les sea mas fácil implementar y mejorar las partes de control del coche.

El sistema electrónico que diseñaremos constará de múltiples partes, las cuales estarán interconectadas a través de un microcontrolador que gestionará toda la información. Debemos tener en mente que esta electrónica se va a implementar en un coche que no se acabará de construir hasta pasada la fecha de entrega de este proyecto, por lo que hay partes del proyecto que no tendrán bien definido que va conectado o definiciones en el programa para poder ir ajustando los parámetros según las pruebas que se realicen.

En apartados posteriores se explicarán los requerimientos de todo el proyecto, pero para tener una idea inicial, nuestra electrónica tendrá los siguientes sistemas:

- **Sistema de alimentación** Este será el sistema mas básico de los que dispondrá la electrónica. Consistirá en obtener la alimentación a 12V de la batería, hacerla pasar a través de un circuito de protección, y conseguir una salida de 5V, 12V y 24V. De esta manera obtendremos la tensión para controlar tanto la electrónica como válvulas neumáticas necesarias para cambiar de marcha.
- **Sistema CAN** Este sistema será el encargado de conectarse al bus CAN que hay en el coche y obtener la información del estado del motor a través de la centralita. También se puede utilizar para enviar datos a otros sistemas conectados al bus.
- **Sistema del volante** Este sistema será el encargado de recibir la información de los botones y del embrague del volante. De esta manera el piloto podrá controlar la marcha del coche, el embrague, y se podrán implementar funciones extras que sean solicitadas por los pilotos.
- **Sistema de embrague** Este sistema será el encargado de gestionar la presión neumática que llega a las válvulas del embrague, consiguiendo transformar una señal de baja potencia a una señal suficientemente fuerte como para accionar las bobinas de los actuadores.
- **Sistema de cambio de marchas** Este sistema será el encargado de gestionar la presión neumática que llega al cilindro que controla el cambio de marcha. También permite acceder a la válvula que controla la velocidad con la que se realiza el cambio de marcha, de manera que podamos pasar de primera a punto muerto de manera correcta.
- **Sistema de sensores** Esta parte será la encargada de adaptar las señales de los sensores a un valor compatible con el microcontrolador.
- **Sistema de salpicadero** Este sistema es el encargado de enviar todas las señales de información al salpicadero para que el piloto pueda ver en tiempo real el estado del coche. También se encarga de recibir y actuar sobre la parte que se encarga de precargar gasolina al motor.
- **Sistema de ETC (Electronic throttle control)** Este sistema será el encargado de enviar la señal de potencia a la mariposa que regula la entrada de aire del motor. También se ocupa de adaptar las señales críticas de estas partes y en el caso de que alguna falle, es la que actúa sobre las alimentaciones para que el coche se pare de forma segura.

Dentro de la propia placa tenemos dos sistemas extras:

- **Sistema de serie a paralelo** Este sistema ahorra al microcontrolador el uso de muchas patas para controlar independientemente cada uno de los LEDs del salpicadero. Su trabajo consiste en recibir datos de manera serie, y transformarlos a paralelo.
- **Microcontrolador** En esta parte está ubicado el microcontrolador que gestiona todo el proyecto. Se trata de un microcontrolador PIC18F67K40, que funcionará con un reloj interno de 64MHz y que será programado usando su puerto ICSP.

NOTA: Todos los archivos de diseño, fabricación, programación y datasheets de componentes se encuentran en los archivos comprimidos adjuntos junto a este documento.

2 Requerimientos del proyecto

Durante las reuniones que se han ido realizando a lo largo de los meses se ha llegado a varios puntos que la electrónica debe de cumplir para el coche en la temporada 2020.

Estos requerimientos se han ido cambiando durante muchos momentos (incluso durante el propio diseño del mismo), pero se ha llegado a un acuerdo respecto a cuales son las funciones básicas que debe de cumplir. Estos puntos son los siguientes:

- **Cumplimiento de la normativa de la *Formula Student*** Un punto crucial del sistema que diseñaremos será cumplir la normativa. En apartados posteriores se explicará exactamente que puntos críticos tiene este proyecto.
- **Alimentación a través de la batería del coche** Esto nos evita poder poner otra batería a parte para alimentar alguno de nuestros sistemas y tener que cumplir reglamentación extra.
- **Control del embrague** Nuestra electrónica debe poder controlar un embrague, de manera que el piloto no deba de actuarlo utilizando su propia fuerza. De esta manera, facilitamos la utilización de este y hacemos que el piloto no sufra tensión al tener que estar utilizando constantemente.
- **Control del cambio de marchas** Ya que implementaremos un embrague electrónico, también se ha solicitado que nuestro sistema sea capaz de poder controlar la subida y la bajada de marchas. De esta manera facilitamos al piloto la conducción, ya que no tiene que realizar ningún tipo de proceso para cambiar de marcha: simplemente tendrá que pulsar un botón.
- **Control del acelerador electrónico** Deberemos de controlar una mariposa electronica de manera que cuando el piloto pulse el acelerador actuemos sobre ella y permitamos que entre aire al motor.
- **Datos desde la centralita** Debemos de ser capaces de recibir la información que está disponible en la centralita de manera que podamos saber el estado interno del motor.
- **Envío de datos a sistemas externos** A parte de nuestra electrónica, es posible que se encuentren mas placas formando parte de la electrónica, por lo que deberemos de ser capaces de poder enviar información interna.
- **Lectura del estado del depósito de gasolina** Deberemos informar de cuando se detecte que hay poca gasolina, de manera que el piloto o el equipo puedan tomar las medidas necesarias.
- **Lectura del estado de las suspensiones** Deberemos capturar el estado de tensión de los muelles de cada una de las ruedas.
- **lectura de la velocidad de las ruedas** Capturaremos la velocidad de las ruedas, de tal manera que podremos saber la velocidad del coche y conocer si hay alguna rueda que está patinando.

- **Lectura de la placa de *plausability*** Existe una placa sin comunicaciones digitales que por reglamento debe de ser diseñada a parte. Esta placa evita que el piloto pueda realizar el puntaje. Recibiremos la información que captura esta placa, de manera que podamos procesar esta información.
- **Gestión de su propia seguridad** Todas las seguridades deberán de ser procesadas de manera interna. Esto quiere decir que tenemos que ser nuestra placa la que procese los estados de error y aplique las medidas.
- **Competición de 2020** Un punto importante es que esta placa tiene que estar funcionando para la temporada 2020 de la *Formula Student*.
- **Mostrar información en el salpicadero** También debemos de mostrar la información del coche (errores, marcha actual, revoluciones) en el salpicadero. De esta manera el piloto lo tendrá mas fácil para identificar si hay algún problema.
- **Funcionamiento de la bomba de gasolina** Deberemos de activar la bomba de gasolina, tanto cuando funcione el coche como cuando el piloto pulse un botón dedicado a realizar la precarga de gasolina.

3 Puntos importantes del reglamento

Tal y como hemos comentado en la introducción, una de las cosas mas importantes a la hora de diseñar cualquier cosa que tenga que ver con el coche es cumplir la reglamentación. La parte de electrónica no está exenta de ella y a pesar de que pueda ser menos restrictiva y menos extensa que la parte mecánica, sigue siendo importante.

En ese apartado comentaremos los puntos mas importantes y estableceremos precedente para que mas adelante, cuando se trate el diseño de la electrónica se pueda hacer referencia a este apartado. Recordemos que utilizaremos como reglamento de referencia el *Formula Student Germany 2020 Rules Version 1.0*.

Recordemos que al tener un coche de combustión, en el caso de que haya normas que dependan del tipo de coche, debemos de cumplir las que indiquen que se trata del tipo (CV):

3.1 Sistema de acelerador electrónico

Este apartado (CV1.6) del reglamento se encuentra en la página 64 del reglamento. Este apartado cuenta los requerimientos que tiene que tener la electrónica si se quiere implementar un control para un acelerador electrónico (ETC).

CV 1.6 Electronic Throttle Control (ETC)

Para diseñar un acelerador electrónico se tiene que implementar un circuito que abra o cierre el paso del aire al motor en función de la posición que se encuentra el pedal de aceleración que mueve el piloto.

- **CV 1.6.1** Este primer punto te define cuando debes de utilizar este punto de la normativa.

CV 1.6.1 CV 1.6 only applies if ETC is used.

Básicamente te dice que este punto solo aplica cuando se implemente en el coche un sistema ETC.

- **CV 1.6.3** Aquí comentan que todas las funciones de seguridad del sistema ETC se deben de demostrar durante la fase en la que los jueces comprueban el coche. Esto se hace para que ningún equipo evite probar los sistemas con excusas como: "No podemos probarlo porque la electrónica está en una caja sellada".

CV 1.6.3 The team must be able to demonstrate the functionality of all safety features and error detections of the ETC system at technical inspection, see IN.

- **CV 1.6.4** El siguiente punto explica que sensores debe de tener equipados un sistema de *ETC*:

CV 1.6.4 The ETC system must be equipped with at least the following sensors:

- Accelerator Pedal Position Sensors (APPSs) as defined in T 11.8.
- Two Throttle Position Sensors (TPSs) to measure the throttle position.

En total se necesitarán dos sensores de posición en los pedales y dos sensores de posición en la mariposa. Mas adelante se explicarán los requerimientos que deben cumplir los sensores de los pedales.

- **CV 1.6.5** En este punto comentan que todas las señales relacionadas con este sistema son críticas.

CV 1.6.5 All ETC signals are System Critical Signals (SCSs), see T 11.9.

La gestión que deben de tener las señales críticas se explicará mas adelante.

- **CV 1.6.6** En el caso de que se pare la alimentación, la mariposa debe cerrarse a su posición neutra. Se permite hasta un segundo para que alcance esa posición y en el caso de que esto no suceda, se debe de parar inmediatamente toda la energía de los sistemas relacionados con el motor. Esto se debe de mantener hasta que se detecte que se ha vuelto a la posición correcta durante un segundo.

CV 1.6.6 When power is removed, the electronic throttle must immediately close at least to idle position $\pm 5\%$. An interval of one second is allowed for the throttle to close to idle, failure to achieve this within the required interval must result in immediate disabling of power to ignition, fuel injectors and fuel pump. This action must remain active until the TPS signals indicate the throttle has returned to idle position $\pm 5\%$ for at least one second.

La propia mariposa que se colocara en la entrada de aire del motor tiene un muelle que permite el retorno rápido de la mariposa, de todos modos, puede darse el caso de que se encalle de manera mecánica. La programación de nuestra placa será la que se encargará de gestionar esta parte.

- **CV 1.6.7** En esta parte explica que si en algún momento ocurre una desviación de mas de 10% entre los dos sensores de la mariposa y esta dura mas de 100ms, debemos de desactivar la potencia que se le aplica a la mariposa.

CV 1.6.7 If plausibility does not occur between the values of at least two TPSs and this persists for more than 100 ms, the power to the electronic throttle must be immediately shut down. Plausibility is defined as a deviation of less than ten percentage points between the sensor values as defined in CV 1.4.3 and no detected failures as defined in T 11.9.

[DV ONLY] Autonomous system must check this signal consistency on a low level itself.

La programación de nuestra placa será la que se encargará de gestionar esta parte. La ultima parte de este apartado solo afecta a los coches sin conductor.

- **CV 1.6.8** Esta parte explica que es necesario dos maneras de poder cerrar la mariposa electrónica, una puede ser el propio circuito eléctrico, pero los otros deben de ser muelles que actúen en el caso de que se pierda la alimentación eléctrica.

- CV 1.6.8 The electronic throttle must use at least two sources of energy capable of returning the throttle to the closed position. One of the sources may be the device that normally actuates the throttle, e.g. a DC motor, but the other device(s) must be a return spring that can return the throttle to the idle position in the event of a loss of actuator power.

En nuestro caso tenemos dos muelles internos en la mariposa comercial que hemos conseguido, por lo que en este punto no tenemos ningún problema.

- **CV 1.6.9** En este apartado explica que los posibles muelles que se pongan en los sensores no cuentan para el punto **CV 1.6.8**

CV 1.6.9 Springs in the TPSs are not acceptable as return springs.

Recordemos que tenemos una mariposa comercial, por lo que internamente los muelles de retorno ya están puestos correctamente.

- **CV 1.6.10** En este último apartado nos comenta que debemos parar inmediatamente la alimentación a la mariposa si detectamos que la posición del sensor del pedal difiere mas de un 10% de la posición esperada en la mariposa durante 500ms.

CV 1.6.10 The power to the electronic throttle must be immediately shut down, as defined in CV 1.6.6, if the throttle position differs by more than 10 % from the expected target TPS position for more than 500 ms.

Esta parte la gestionará la programación.

3.2 Sensor de aceleración del pedal

Este apartado (T11.8) del reglamento se encuentra en la página 57 del reglamento. (APPS).

T11.8 Accelerator Pedal Position Sensor (APPS)

Este apartado trata sobre la reglamentación que hay que cumplir para los sensores de detección de posición del pedal que acciona el piloto.

- **T 11.8.1** En el primer punto del apartado del APPS explica cuando aplica este apartado:

T 11.8.1 T 11.8 only apply for electric vehicles, see chapter EV, or internal combustion vehicles using Electronic Throttle Control (ETC), see CV 1.6.

Nuestro coche es un coche de combustión, por lo que todo este apartado aplica a nuestro sistema.

- **T 11.8.2** Nos matizan que los sensores de posición del acelerador deben de ser accionados mediante un pedal manipulado por los pies.

T 11.8.2 The APPS must be actuated by a foot pedal.

Nuestro sistema cumple este requisito. Se hace mas que nada para que nadie diseñe, por ejemplo, un acelerador mediante una leva en el volante.

- **T 11.8.3** Aquí nos definen que es la expresión *Pedal travel*.

T 11.8.3 Pedal travel is defined as percentage of travel from fully released position to a fully applied position where 0 % is fully released and 100 % is fully applied.

Nos explican que se define como el porcentaje que hay del pedal desde la posición de reposo a la posición completamente accionado.

- **T 11.8.4** En este punto indican que el pedal debe de retornar a la posición neutra cuando no se pulse. Además, el pedal debe de tener un limitador mecánico para evitar daños. Se deben de utilizar dos muelles para el pedal, que deben de funcionar de manera independiente. No se deben de utilizar muelles en los sensores de posición del pedal.

T 11.8.4 The foot pedal must return to the 0 % position when not actuated. The foot pedal must have a positive stop preventing the mounted sensors from being damaged or overstressed. Two springs must be used to return the foot pedal to the 0 % position and each spring must work when the other is disconnected. Springs in the APPS are not accepted as return springs.

Esta parte no nos afecta como electrónicos, pero se debe de tener muy en cuenta a la hora de diseñar el coche.

- **T 11.8.5** Nos informan de que se deben de utilizar dos sensores de posición por separado. Además, no pueden compartir líneas de alimentación o señal.

T 11.8.5 At least two separate sensors must be used as APPSs. Separate is defined as not sharing supply or signal lines.

Esta parte se realiza porque tal como veremos mas adelante, añadimos redundancia a la señal de posición del pedal. También deberemos tener en cuenta que hay poner un conector para cada uno de estos sensores.

- **T 11.8.6** Si utilizamos sensores analógicos, deben de tener funciones de transferencia diferentes y no deben cruzarse entre si. Además, si hay algún tipo de cortocircuito en sus líneas de señal se debe de producir un *implausability*. La definición de este error se explica en el punto **T 11.9** sobre señales críticas.

T 11.8.6 If analog sensors are used, they must have different, non-intersecting transfer functions, . A short circuit between the signal lines must always result in an implausibility according to T 11.8.9.

Para cumplir esta parte, lo que haremos será conseguir dos potenciómetros iguales, pero mecánicamente estarán colocados ligeramente diferente de manera que la señal que nos den sea diferente entre ellos.

- **T 11.8.7** Las señales de los sensores de posición del pedal son señales críticas, por lo tanto, deben de cumplir la parte del reglamento dedicada a ellas.

T 11.8.7 The APPS signals are SCSs, see T 11.9.

- **T 11.8.8** Aquí nos explican que si ocurre un *implausability* durante mas de 100ms entre los valores de los dos sensores del pedal, se debe parar el motor.

T 11.8.8 If an implausibility occurs between the values of the APPS and persists for more than 100 ms

- [EV ONLY] The power to the motor(s) must be immediately shut down completely. It is not necessary to completely deactivate the tractive system, the motor controller(s) shutting down the power to the motor(s) is sufficient.
- [CV ONLY] The power to the electronic throttle must be immediately shut down.

Esta parte estará controlada por la programación.

- **T 11.8.9** Un *implausability* se define como la diferencia de mas de 10% respecto a la posición detectada del pedal.

T 11.8.9 Implausibility is defined as a deviation of more than ten percentage points pedal travel between any of the used APPS or any failure according to T 11.9.

- **T 11.8.11** Cada uno de los sensores se deben de poder desconectar por separado.

T 11.8.11 It must be possible to separately disconnect each APPS signal wire to check all functionalities.

Esto se realiza para evitar que un equipo no pueda probar su funcionamiento debido a que tienen los dos sensores utilizando el mismo conector y no sea posible desconectarlos por separado.

- **T 11.8.12** Por último, esta parte nos indica que cuando no estamos pulsando el pedal, el sistema tiene que colocarse en la posición neutra. Esta posición puede ser la posición de ralentí del coche. Esto solo puede ser superado durante un máximo de 500ms durante un cambio de marcha, puesto que cuando el piloto reduce de marcha, muchas veces se busca que el coche haga un pequeño acelerón.

T 11.8.12 A fully released accelerator pedal must result in:

- [EV ONLY] A wheel torque of ≤ 0 Nm
- [CV ONLY] An idle position or lower throttle set-point. This may only be exceeded during a gearshift for a maximum of 500 ms.

3.3 Señales críticas

Este apartado (T11.9) del reglamento se encuentra en la página 58 del reglamento. Aquí se cuenta como hay que procesar las señales que se definan como críticas.

T 11.9 System Critical Signals (SCSs)

- **T 11.9.1** En su primer apartado tenemos la definición de que es una señal crítica.

T 11.9.1 SCS are defined as all electrical signals which

- Influence actions on the shutdown circuit, see CV 4.1 and EV 6.1.
- Influence the wheel torque.
- [EV ONLY] Influence indicators according to EV 5.8.8, EV 4.10 or EV 6.3.7.
- [DV ONLY] Influence indicator according to DV 3.2.7.

Debemos de recordar que las señales que provenían de los sensores de posición del a mariposa y pedal pueden tener influencia sobre el circuito de desactivación del motor, por lo que deberán de aplicarse las reglas en este apartado.

- **T 11.9.2** En este apartado se explica que se debe de poner en *estado seguro* el sistema si se detecta algún tipo de fallo.

T 11.9.2 Any of the following SCS single failures must result in a safe state of all connected systems:

- (a) Failures of signals transmitted by cable:
 - Open circuit
 - Short circuit to ground
- (b) Failures of analog sensor signals transmitted by cable:
 - Short circuit to supply voltage
- (c) Failures of sensor signals used in programmable devices:
 - Implausibility due to out of range signals, e.g. mechanically impossible angle of an angle sensor.
- (d) Failures of digitally transmitted signals by cable or wireless:
 - Data corruption (e.g. checked by a checksum)
 - Loss and delay of messages (e.g. checked by transmission time outs)

Signals might be a member of multiple signal classes, e.g. analog signals transmitted by cable might be a member of T 11.9.2.a, T 11.9.2.b and T 11.9.2.c.

If a signal failure is correctable, e.g. due to redundancy or worst case values, the safe state must be entered as soon as an additional non correctable failure occurs.

Entre estos fallos podemos comentar que si se detecta un circuito abierto, un cortocircuito con otra línea o si se detecta una desviación grande entre valores de sensores se debe de activar este *modo seguro*.

- **T 11.9.4** Hay varias maneras de actuar como *modo seguro* dependiendo del fallo que se haya detectado.

T 11.9.4 Safe state is defined depending on the signals as follows:

- signals only influencing indicators – Indicating a failure of its own function or of the connected system
- low voltage battery signals – At least one pole is electrically disconnected from the rest of the vehicle
- [EV ONLY] For all others signals – opened shutdown circuit and opened AIRs
- [CV ONLY] For all others signals – opened shutdown circuit and stopped engine

Si tenemos un fallo en algo que solo es una señal de estado, indicando el error en el salpicadero ya es suficiente. Indicaremos mediante un LED cuando se desconecte la batería (Cuando se apague es que hay un error). Por último, en cualquier otro caso de una señal que falle, se debe de abrir el circuito de alimentación del motor y se parará el motor. Debemos de tener en mente que para esta operación disponemos de un relé externo a nuestro circuito que simplemente activándolo ya nos es suficiente para realizar esta acción.

- **T 11.9.5** Finalmente nos comentan que si hay algún indicador que cuando detecte un error se ilumine, este debe de ser iluminado de uno a tres segundos al dar alimentación para poder comprobar que funciona correctamente.

T 11.9.5 Indicators according to T 11.9.1 with safe state “illuminated” (e.g. absence of failures is not actively indicated) must be illuminated for 1 s to 3 s for visible check after power cycling the LVMS.

4 Visión general de la electrónica

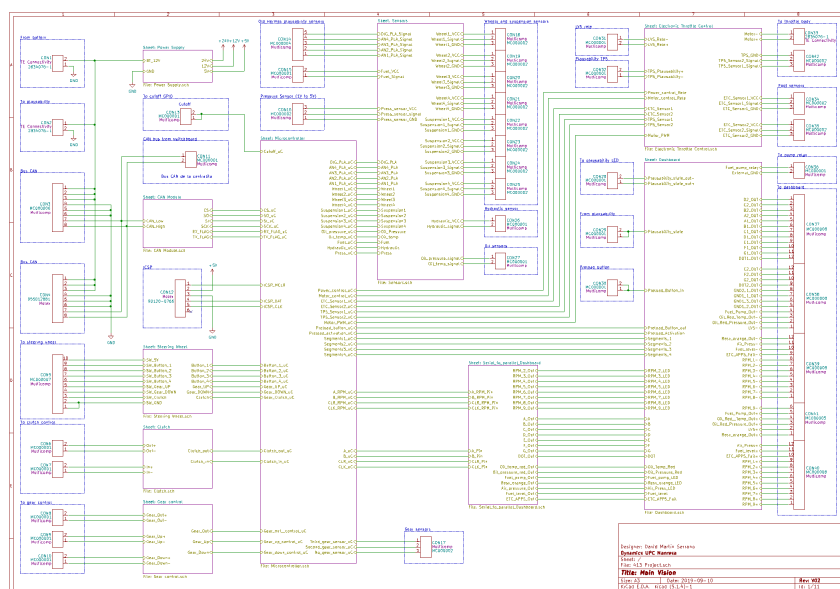
Este proyecto se ha realizado con un programa de diseño llamado Kicad. Este programa de *open source* permite el diseño de esquemáticos electrónicos y el diseño de circuitos impresos de una manera muy sencilla.

A la hora de implementar los símbolos, hemos generado nuestra propia librería con símbolos personalizados. Las huellas de los componentes, se han intentado buscar en las librerías disponibles en Kicad, pero en el caso de que fuera un componente que no tenía una huella equivalente se han realizado desde cero.



Logo de Kicad

Cada componente de este proyecto tiene sus características en el esquemático y se ha procurado que quede todo diseñado a nivel de bloques. De esta manera podemos conseguir entender muy fácil el funcionamiento general del circuito simplemente viendo la primera página y viendo como están interconectados los sistemas.



Visión general del esquemático del proyecto

4.1 Visión general

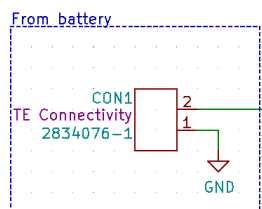
En la imagen anterior hemos podido ver un esquema donde se podía ver una vista general de la electrónica. Todos estos bloques a su vez están unidos a conectores.

Únicamente se han escogido conectores de cuatro referencias (los conectores que tienen gran variedad de entradas, se han diseñado teniendo la misma referencia base). Estos conectores son los siguientes:

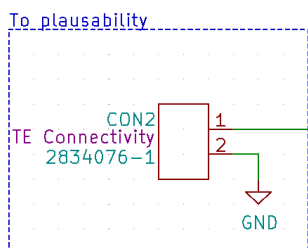
- **Conectores de potencia** 2834076-1 de TE Connectivity. Conectores de presión que aguantan mucha intensidad.
- **Conectores de señales** Familia MC00000X de Multicomp pro. Conectores de presión.
- **Conector de datos por CAN** Se ha colocado un conector de RJ-45 por un requerimiento de otra placa que se tenía pensado poner. De esta manera es mucho mas fácil el crimpado.
- **Conector de programación del microcontrolador** Un *pin header* de seis posiciones se utilizará para acceder al microcontrolador. Este conector no se utilizará durante el funcionamiento normal del sistema.

A continuación explicaremos cada uno de estos conectores y cada uno de los pins:

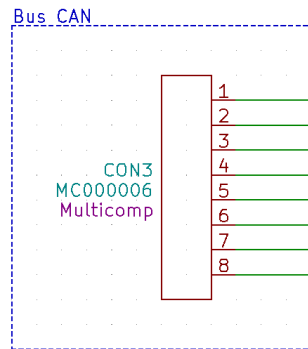
- **CON1** Este conector es la entrada de alimentación de la batería del coche. A través de aquí pasa toda la intensidad que consume nuestro sistema.



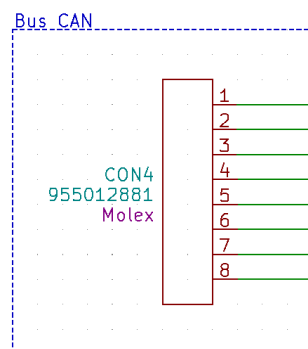
- **Pin 1** Masa del coche.
- **Pin 2** Polo positivo de la batería.
- **CON2** Este conector sirve para alimentar la placa del *plausability*. Esta alimentación pasa por nuestra placa porque de esta manera evitamos poner otro cable largo desde la batería.



- **Pin 1** Polo positivo de la alimentación del *plausability*.
- **Pin 2** Masa del coche.
- **CON3** Este conector sirve para poder implementar otros sistemas que también se alimenten a 12V y requieran un bus CAN.

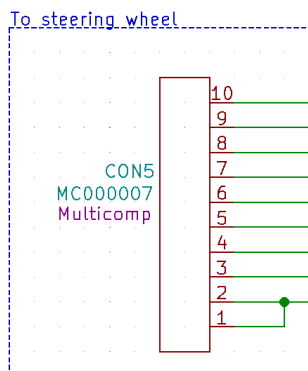


- **Pin 1** Alimentación a 12V.
 - **Pin 2** Alimentación a 12V.
 - **Pin 3** Alimentación a 12V.
 - **Pin 4** Masa.
 - **Pin 5** Masa.
 - **Pin 6** Masa.
 - **Pin 7** Polo negativo del bus CAN.
 - **Pin 8** Polo positivo del bus CAN.
- **CON4** Este conector también sirve para poder alimentar y otorgar CAN a una placa extra. Se ha diseñado con un conector RJ-45 porque se ha establecido de que una futura placa externa llevará este conector.



- **Pin 1** Alimentación a 12V.
- **Pin 2** Alimentación a 12V.
- **Pin 3** Alimentación a 12V.
- **Pin 4** Masa.
- **Pin 5** Masa.
- **Pin 6** Masa.
- **Pin 7** Polo negativo del bus CAN.
- **Pin 8** Polo positivo del bus CAN.

- **CON5** Este conector va hacia el volante. Por aquí pasan las señales de los botones que pulsa el piloto. Se ha elegido la referencia de 10 pins de este conector porque la referencia de 9 pins no existía.



- **Pin 1** Masa.
 - **Pin 2** Masa.
 - **Pin 3** Señal del potenciómetro del embrague.
 - **Pin 4** Señal de bajar marcha.
 - **Pin 5** Señal de subir marcha.
 - **Pin 6** Conexión del botón numero 4.
 - **Pin 7** Conexión del botón numero 3.
 - **Pin 8** Conexión del botón numero 2.
 - **Pin 9** Conexión del botón numero 1.
 - **Pin 10** Alimentación de 5V para el potenciómetro del embrague.
- **CON6** Válvula que extrae aire comprimido del cilindro del embrague:



- **Pin 1** Polo negativo de la electroválvula.
 - **Pin 2** Polo positivo de la electroválvula.
- **CON7** Válvula que introduce aire comprimido del cilindro del embrague:



- **Pin 1** Polo negativo de la electroválvula.
 - **Pin 2** Polo positivo de la electroválvula.
- **CON8** Válvula que introduce aire comprimido al cilindro de cambio de marcha.



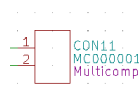
- **Pin 1** Polo negativo de la electroválvula.
- **Pin 2** Polo positivo de la electroválvula.
- **CON9** Válvula que controla si se introduce o se extrae aire comprimido en la dirección de subir marcha del cilindro de cambio de marcha:



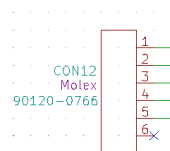
- **Pin 1** Polo negativo de la electroválvula.
- **Pin 2** Polo positivo de la electroválvula.
- **CON10** Válvula que controla si se introduce o se extrae aire comprimido en la dirección de bajar marcha del cilindro de cambio de marcha:



- **Pin 1** Polo negativo de la electroválvula.
- **Pin 2** Polo positivo de la electroválvula.
- **CON11** Bus CAN proveniente de la centralita:



- **Pin 1** Polo negativo del bus CAN.
- **Pin 2** Polo positivo del bus CAN.
- **CON12** Programador del microcontrolador. Aquí se conectará la herramienta llamada "PicKit".

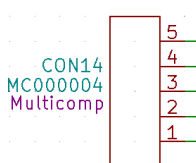


- **Pin 1** Pin MCLR.
- **Pin 2** Alimentación 5V.
- **Pin 3** Masa.
- **Pin 4** Pin DAT.

- **Pin 5** Pin CLK.
- **Pin 6** Sin conexión.
- **CON13** Conexión del *cutoff*. Este conector va hacia la centralita, y permite realizar el proceso de *cutoff*.



- **Pin 1** Pin de *cutoff* de la centralita.
- **Pin 2** Pin de *cutoff* de la centralita.
- **CON14** Conector desde el *plausability* que nos informa de la configuración y del estado de seguridad de esa placa.



- **Pin 1** Valor de configuración del freno.
- **Pin 2** Valor del freno.
- **Pin 3** Valor de configuración del acelerador.
- **Pin 4** Valor del acelerador.
- **Pin 5** Estado de la seguridad del *plausability*
- **CON15** Sensor del deposito de gasolina. Este sensor es una resistencia variable:



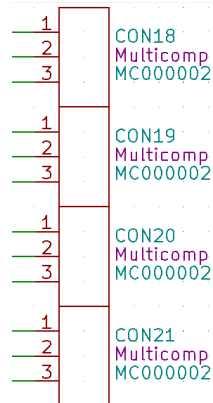
- **Pin 1** Señal a través de la resistencia.
- **Pin 2** Alimentación 5V.
- **CON16** Sensor de presión del calderín de aire comprimido:



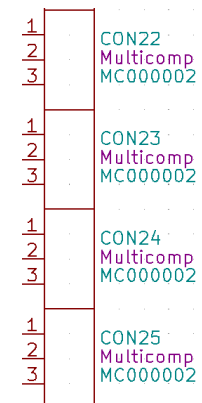
- **Pin 1** Alimentación a 24V.
- **Pin 2** Señal del sensor, de 1V a 5V.
- **Pin 3** Masa.
- **CON17** Detector de marcha desde el motor:



- **Pin 1** Indicador de tercera.
 - **Pin 2** Indicador de segunda.
 - **Pin 3** Indicador de punto muerto.
- **CON18, CON19, CON20, CON21** Detector de velocidad de las ruedas:



- **Pin 1** Alimentación a 12V.
 - **Pin 2** Señal del sensor.
 - **Pin 3** Masa.
- **CON22, CON23, CON24, CON25** Sensores de las suspensiones:



- **Pin 1** Alimentación a 5V.
 - **Pin 2** Señal del sensor.
 - **Pin 3** Masa.
- **CON26** Sensor hidráulico. Indica la posición del embrague del motor:



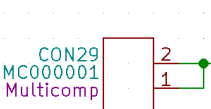
- **Pin 1** Alimentación a 5V.
- **Pin 2** Señal del sensor.
- **CON27** Sensores de temperatura y presión del aceite. Estos sensores tienen la chapa conectada a la masa del coche:



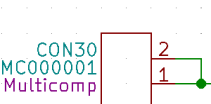
- **Pin 1** Señal de la presión del aceite.
- **Pin 2** Señal de la temperatura del aceite.
- **CON28** Conector hacia un LED que viene activado por la placa del *plausability*:



- **Pin 1** Catodo del LED.
- **Pin 2** Anodo del LED.
- **CON29** Señal para el LED del *plausability*:



- **Pin 1** Señal desde el *plausability*.
- **Pin 2** Señal desde el *plausability*.
- **CON30** Botón para activar la precarga de gasolina:



- **Pin 1** Señal desde el botón.
- **Pin 2** Señal desde el botón.
- **CON31** Control del relé de seguridad. Aquí se pondrá un relé externo que permite el corte de energía al motor:



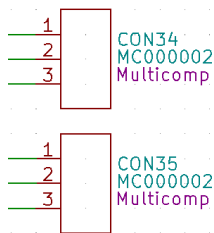
- **Pin 1** Polo negativo de la bobina.
- **Pin 2** Polo positivo de la bobina.
- **CON32** Señal de la posición de la mariposa que se envía directamente al *plausability*.



- **Pin 1** Polo negativo de la señal.
- **Pin 2** Polo positivo de la señal.
- **CON33** Alimentación del motor de la mariposa:



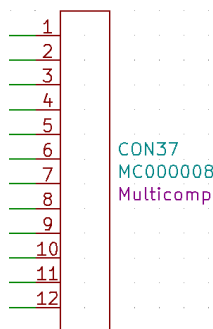
- **Pin 1** Polo negativo del motor.
- **Pin 2** Polo positivo de la señal.
- **CON34, CON35** Sensores de posición del pedal de aceleración:



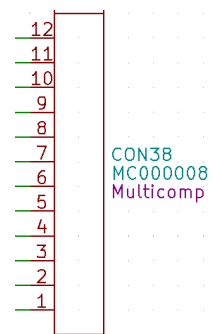
- **Pin 1** Alimentación 5V.
- **Pin 2** Señal del potenciómetro.
- **Pin 3** Masa.
- **CON36** Relé de activación de la bomba de gasolina:



- **Pin 1** Conexión serie del relé.
- **Pin 2** Masa.
- **CON37** Conector hacia el salpicadero:

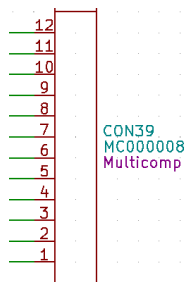


- **Pin 1** Pin D del siete segmentos del cambio de marcha.
 - **Pin 2** Pin C del siete segmentos del cambio de marcha.
 - **Pin 3** Pin B del siete segmentos del cambio de marcha.
 - **Pin 4** Pin A del siete segmentos del cambio de marcha.
 - **Pin 5** Pin A de los siete segmentos de la temperatura del refrigerante.
 - **Pin 6** Pin B de los siete segmentos de la temperatura del refrigerante.
 - **Pin 7** Pin C de los siete segmentos de la temperatura del refrigerante.
 - **Pin 8** Pin D de los siete segmentos de la temperatura del refrigerante.
 - **Pin 9** Pin E de los siete segmentos de la temperatura del refrigerante.
 - **Pin 10** Pin F de los siete segmentos de la temperatura del refrigerante.
 - **Pin 11** Pin G de los siete segmentos de la temperatura del refrigerante.
 - **Pin 12** Pin DOT de los siete segmentos de la temperatura del refrigerante.
- **CON38** Conector hacia el salpicadero:

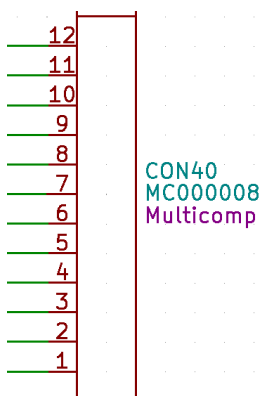


- **Pin 1** Cátodo del LED de baja tensión.
- **Pin 2** Cátodo del LED de presión del aceite.
- **Pin 3** Cátodo del LED de temperatura del aceite.
- **Pin 4** Cátodo del LED de bomba de gasolina activa.
- **Pin 5** Ánodo del siete segmentos que indican las decenas de la temperatura del refrigerante.
- **Pin 6** Ánodo del siete segmentos que indican las centenas de la temperatura del refrigerante.
- **Pin 7** Ánodo del siete segmentos que indican las unidades de la temperatura del refrigerante.

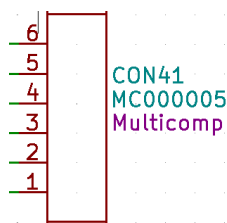
- **Pin 8** Ánodo del siete segmentos que indica la marcha actual.
 - **Pin 9** Pin DOT del siete segmentos del cambio de marcha.
 - **Pin 10** Pin G del siete segmentos del cambio de marcha.
 - **Pin 11** Pin F del siete segmentos del cambio de marcha.
 - **Pin 12** Pin E del siete segmentos del cambio de marcha.
- **CON39** Conector hacia el salpicadero:



- **Pin 1** Cátodo del LED 8 de revoluciones.
 - **Pin 2** Cátodo del LED 7 de revoluciones.
 - **Pin 3** Cátodo del LED 6 de revoluciones.
 - **Pin 4** Cátodo del LED 5 de revoluciones.
 - **Pin 5** Cátodo del LED 4 de revoluciones.
 - **Pin 6** Cátodo del LED 3 de revoluciones.
 - **Pin 7** Cátodo del LED 2 de revoluciones.
 - **Pin 8** Cátodo del LED 1 de revoluciones.
 - **Pin 9** Cátodo del LED de fallo del acelerador electrónico.
 - **Pin 10** Cátodo del LED de poco combustible en el deposito.
 - **Pin 11** Cátodo del LED de baja presión en el calderín de aire comprimido.
 - **Pin 12** Cátodo del LED de pruebas.
- **CON40** Conector hacia el salpicadero:



- **Pin 1** Ánodo del LED 9 de revoluciones.
 - **Pin 2** Ánodo del LED 8 de revoluciones.
 - **Pin 3** Ánodo del LED 7 de revoluciones.
 - **Pin 4** Ánodo del LED 6 de revoluciones.
 - **Pin 5** Ánodo del LED 5 de revoluciones.
 - **Pin 6** Ánodo del LED 4 de revoluciones.
 - **Pin 7** Ánodo del LED 3 de revoluciones.
 - **Pin 8** Ánodo del LED 2 de revoluciones.
 - **Pin 9** Ánodo del LED 1 de revoluciones.
 - **Pin 10** Ánodo del LED de fallo del acelerador electrónico.
 - **Pin 11** Cátodo del LED de baja presión en el calderín de aire comprimido.
 - **Pin 12** Ánodo del LED de baja presión en el calderín de aire comprimido.
- **CON41** Conector hacia el salpicadero:



- **Pin 1** Ánodo del LED de pruebas.
 - **Pin 2** Ánodo del LED de baja tensión.
 - **Pin 3** Ánodo del LED de presión del aceite.
 - **Pin 4** Ánodo del LED de temperatura del aceite.
 - **Pin 5** Ánodo del LED de bomba de gasolina activa.
 - **Pin 6** Cátodo del LED 9 de revoluciones.
- **CON42** Señales desde la mariposa:



- **Pin 1** Masa de las señales.
- **Pin 2** Sensor 1 de la posición de la mariposa.
- **Pin 2** Sensor 2 de la posición de la mariposa.

5 Sistema de alimentación

El sistema de alimentación es la parte que protege nuestra electrónica de posibles picos de tensión y problemas que provengan de la batería del coche. También servirá para realizar conversiones de voltaje para que la electrónica tenga una tensión adecuada y constante.

Los objetivos de este bloque son los siguientes:

- **Proteger el circuito de alimentación** Una funcionalidad básica debe de ser proteger el circuito externo e interno de posibles fallos. De esta manera, si hay un pico de tensión en la batería conseguiremos evitar la destrucción de los integrados. También evitaremos que posibles cortocircuitos de la placa afecten a la batería.
- **Conseguir una alimentación de 12V** Algunas partes de nuestra electrónica funcionan a 12V. Simplemente, una vez después del circuito de protección, obtendremos una salida para todos los sistemas que requieran esta alimentación.
- **Conseguir una alimentación de 5V** Muchas de las partes de nuestra electrónica funcionarán a 5V, por lo tanto necesitaremos transformar los 12V en la entrada a unos 5V estables.
- **Conseguir una alimentación de 24V** Existen algunos actuadores que requieren unos voltajes de funcionamiento superiores a los 12V. Nuestro sistema también deberá tener por lo tanto, una alimentación de 24V.

Un diagrama de bloques sería el siguiente:

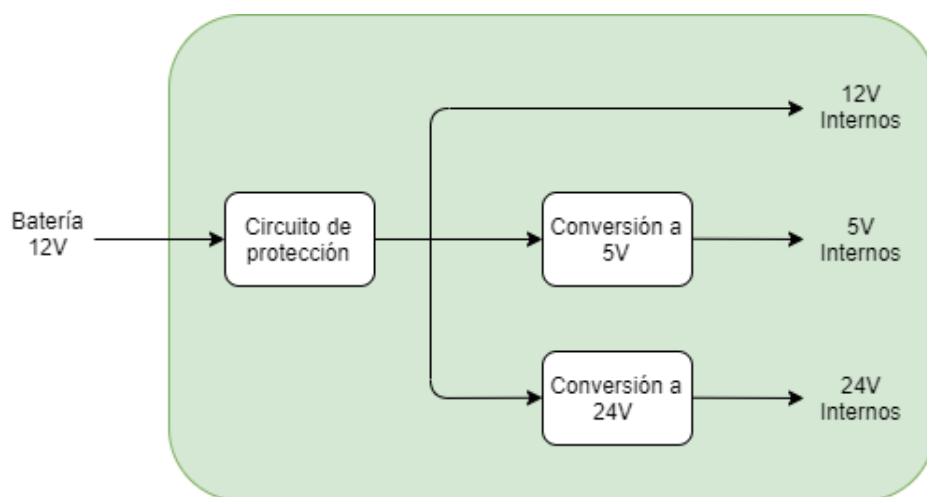
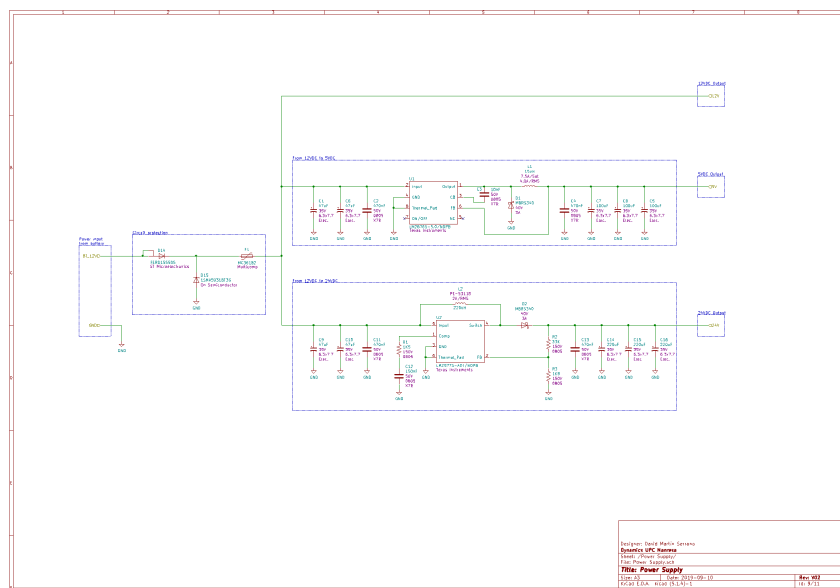


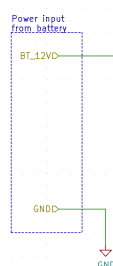
Diagrama de bloques del sistema de alimentación

5.1 Diseño electrónico

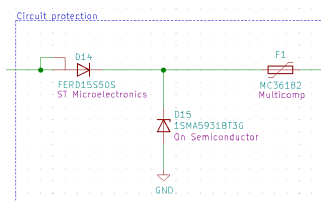
Recordemos que este bloque será el responsable de alimentar todo el resto de sistemas. La vista general del bloque es el siguiente:



En la parte mas a la izquierda tenemos la entrada de la tensión de alimentación directamente desde la batería del coche. Esta tiene un voltaje de 12V continua.



A continuación tenemos el bloque de seguridad en la alimentación:



Este bloque actúa de manera que el diodo D14 evita problemas debido a inversiones de la alimentación. El diodo D15 es un zener que evitará los picos de tensión debido al resto del circuito distribuido por el coche. Finalmente, F1 es un fusible rearmable que cortará la alimentación en el caso de que se detecte una sobrecorriente. Al ser rearmable nos permite no tener que ir a la propia placa a cambiar el fusible si esta condición pasara.

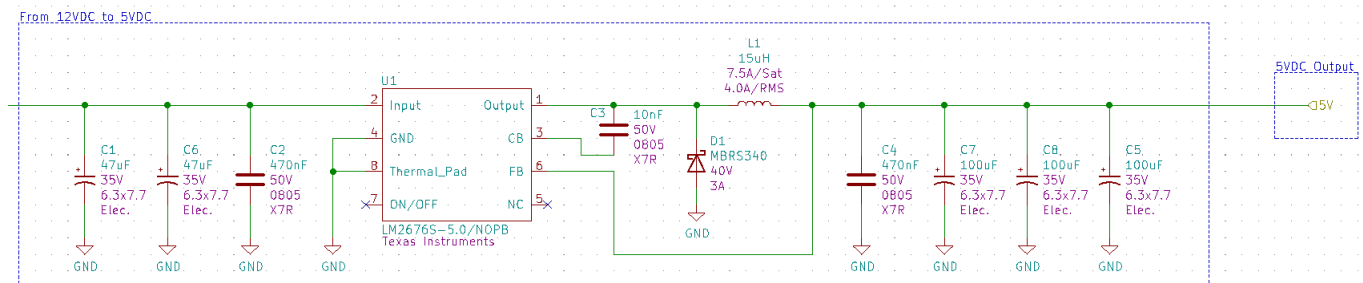
Se han tenido varias cosas en mente a la hora de seleccionar estos componentes:

- **Diodo D14** Este diodo tiene una intensidad máxima de 15A, que es mas que suficiente para nuestra aplicación. También se ha escogido por el hecho de que tiene un formato SMD, fácilmente soldable y que es algo que es fácil de obtener en tiendas electrónicas.
- **Diodo D15** Este diodo zener tiene un voltaje de 18V, por lo que cualquier pico de voltaje superior sería atenuado por el zener.
- **Fusible rearmable F1** Este fusible se ha puesto para que se abra cuando la intensidad llegue a 14A.

La siguiente parte de este esquemático es una salida de 12V que alimenta los sistemas que lo requieren:



Justo debajo de este bloque tenemos el bloque que convierte los 12V internos a 5V de continua:



Esta fuente de alimentación se ha hecho con un integrado que tiene una fuente conmutada de 5V en su interior. Dentro tiene la electrónica necesaria para que con los mínimos componentes externos funcione. La bobina y el diodo de esta fuente deben de ser externos, por lo que también se han incluido en el esquemático. Los condensadores tanto a la entrada como a la salida de la fuente, sirven para almacenar energía y evitar cambios de voltaje de alta frecuencia.

Se han tenido en mente los siguientes puntos a la hora de seleccionar estos componentes:

- **Integrado U1** Esta fuente de alimentación ha sido seleccionada porque es una fuente conmutada (por lo que tiene una alta eficiencia), tiene una referencia de integrado que ya está fijado a 5V y puede ofrecer hasta 3A. También, al ser de la marca Texas instruments, podemos estar seguros de que esta referencia no tendrá problemas de suministro.
- **Condensadores C1, C6** Estos condensadores electrolíticos estarán ubicados cerca de la entrada del integrado para ayudar a proporcionar energía a la fuente de alimentación. Según la pagina 13 del datasheet del integrado, nos recomiendan que el voltaje mínimo unas 1.3 veces la tensión del circuito.

the current rating of the total capacitance. The voltage rating must also be selected to be 1.3 times the maximum input voltage. Depending on the unregulated input power source, under light load conditions the maximum input

- **Condensador C2** Este condensador será el mas cercano al integrado y según la pagina 13 del datasheet, recomiendan un condensador cerámico entre $0.1\mu\text{F}$ y $0.47\mu\text{F}$.

The input capacitor must be placed very close to the input pin of the LM2676. Due to relative high current operation with fast transient changes, the series inductance of input connecting wires or PCB traces can create ringing signals at the input terminal which could possibly propagate to the output or other parts of the circuitry. It may be necessary in some designs to add a small valued (0.1 μF to 0.47 μF) ceramic type capacitor in parallel with the input capacitor to prevent or minimize any ringing.

- **Condensador C3** Este condensador, llamado de *boost* nos recomiendan en la pagina 13 que sea un cerámico de 50V y 0.01 μF .

8.1.6 Boost Capacitor

The boost capacitor creates a voltage used to overdrive the gate of the internal power MOSFET. This improves efficiency by minimizing the on resistance of the switch and associated power loss. For all applications, TI recommends a 0.01- μF , 50-V ceramic capacitor.

- **Diodo D1** En la pagina 17 del datasheet nos aparece una tabla con una lista de posibles diodos *schottky* para la aplicación. Simplemente hemos seleccionado uno de mas de 20V en un encapsulado SMD que nos fuera fácil encontrar. El seleccionado fue el MBR340.

Table 4. Schottky Diode Selection Table

REVERSE VOLTAGE (V)	SURFACE MOUNT		THROUGH HOLE	
	3 A	5 A OR MORE	3 A	5 A OR MORE
20	SK32	—	1N5820 SR302	—
30	SK33 30WQ03F	MBRD835L	1N5821 31DQ03	—
40	SK34	MBRB1545CT	1N5822	—
	30BQ040	6TQ045S	MBR340	MBR745
	30WQ04F		31DQ04	80SQ045
	MBRS340		SR403	6TQ045
	MBRD340			
50 or more	SK35	—	MBR350 31DQ05	—
	30WQ05F		SR305	

- **Bobina L1** Esta bobina se ha seleccionado de este valor porque en la pagina 17 del datasheet tenemos una tabla en la cual aparece que si estás utilizando el integrado de 5V, a un voltaje de entrada de 12V y una salida máxima de 3A, debes de tener una inductancia de 15 μH . Debemos de tener en cuenta que la intensidad que admita esta bobina sea superior a la maxima demandada por el sistema (3A). De todos modos, en la pagina 16 ya nos aparece una lista de posibles referencias.

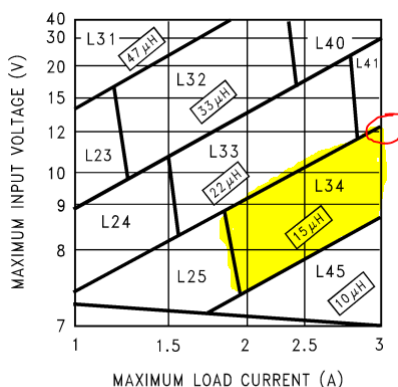


Figure 18. LM2676-5

- **Condensadores C7, C8 y C5** Estos condensadores deberían estar calculados respecto a la bobina que hayamos puesto para conseguir suprimir al máximo el ruido creado por el funcionamiento de

la fuente conmutada. En la pagina 19 nos aparece una tabla con, respecto a nuestra inductancia, saber los condensadores que deberíamos de poner:

Table 5. Output Capacitors for Fixed Output Voltage Application—Surface Mount⁽¹⁾⁽²⁾

OUTPUT VOLTAGE (V)	INDUCTANCE (μ H)	SURFACE MOUNT					
		AVX TPS SERIES		SPRAGUE 594D SERIES		KEMET T495 SERIES	
		NO.	C CODE	NO.	C CODE	NO.	C CODE
3.3	10	4	C2	3	C1	4	C4
	15	4	C2	3	C1	4	C4
	22	3	C2	2	C7	3	C4
	33	2	C2	2	C6	2	C4
5	10	4	C2	4	C6	4	C4
	15	3	C2	2	C7	3	C4
	22	3	C2	2	C7	3	C4
	33	2	C2	2	C3	2	C4
	47	2	C2	1	C7	2	C4

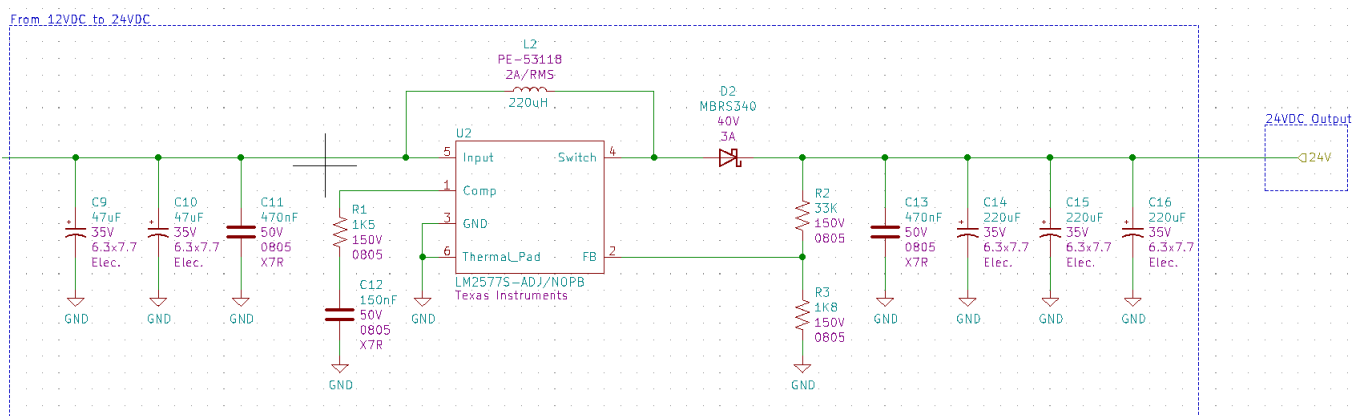
Una vez lo tenemos, vamos a la pagina 16 y miramos, por ejemplo, que condensadores deberíamos poner en la salida. Vemos que con la referencia KEMET nos aparece que si ponemos 3 condensadores de referencia C4, nos sería suficiente. El valor de los condensadores es el siguiente:

CAPACITOR REFERENCE CODE	SURFACE MOUNT								
	AVX TPS SERIES			SPRAGUE 594D SERIES			KEMET T495 SERIES		
	C (μ F)	WV (V)	I _{rms} (A)	C (μ F)	WV (V)	I _{rms} (A)	C (μ F)	WV (V)	I _{rms} (A)
C1	330	6.3	1.15	120	6.3	1.1	100	6.3	0.82
C2	100	10	1.1	220	6.3	1.4	220	6.3	1.1
C3	220	10	1.15	68	10	1.05	330	6.3	1.1
C4	47	16	0.89	150	10	1.35	100	10	1.1

Como nos aparece $100\mu\text{F}$, pondremos tres condensadores, que es un valor bastante utilizado. Utilizaremos tres condensadores en vez de uno para bajar la *ESR* y poder tener así una mejor respuesta a la demanda de energía.

- **Condensador C4** Este condensador cerámico lo pondremos para filtrar el ruido a alta frecuencia que pueda provenir de la salida de la fuente de alimentación. Se ha puesto de 470nF porque es un valor muy común al realizar este tipo de filtrados.

El siguiente bloque que miraremos será la fuente conmutada que transforma 12V a 24V . Esta fuente se utilizará básicamente para las válvulas neumáticas que controlan el embrague y el cambio de marcha. En total son 3 válvulas que consumen máximo 200mA cada una, por lo que con un amperio tenemos mas que suficiente:



A continuación tenemos como se ha seleccionado cada uno de los componentes:

- **Condensadores C9 y C10** Según el datasheet, con un condensador de 0.1μ es mas que suficiente para evitar problemas con los condensadores de entrada. De todos modos, hemos aprovechado el mismo circuito que en la otra fuente para simplificar,

4. Input Capacitor Selection (C_{IN})

The switching action in the step-up regulator causes a triangular ripple current to be drawn from the supply source. This in turn causes noise to appear on the supply voltage. For proper operation of the LM1577, the input voltage should be decoupled. Bypassing the Input Voltage pin directly to ground with a good quality, low ESR, $0.1\mu F$ capacitor (leads as short as possible) is normally sufficient.

- **Condensador C11** Este condensador cerámico lo pondremos para filtrar el ruido a alta frecuencia que pueda provenir de fuera de la fuente de alimentación. Se ha puesto de $470nF$ porque es un valor muy común al realizar este tipo de filtrados.
- **Bobina L2** Para conseguir el valor de esta bobina, vamos a seguir el procedimiento que está en la página 16. Lo primero que tenemos que hacer es calcular el $I_{LOAD(max)}$ maximo:

$$I_{LOAD(max)} \leq \frac{2.1A \times V_{IN(min)}}{V_{OUT}}$$

$$\frac{2.1A \cdot 12V}{24V} = 1.05 \quad (5.1)$$

A continuación calculamos D_{max} :

$$D_{(max)} = \frac{V_{OUT} + V_F - V_{IN(min)}}{V_{OUT} + V_F - 0.6V}$$

where $V_F = 0.5V$ for Schottky diodes

$$\frac{24V + 0.5V - 12V}{24V + 0.5V - 0.6V} = 0.52 \quad (5.2)$$

Calculamos los voltios por segundo de carga al inductor:

$$E \cdot T = \frac{D_{(max)} (V_{IN(min)} - 0.6V) 10^6}{52,000 \text{ Hz}} \quad (V \cdot \mu s)$$

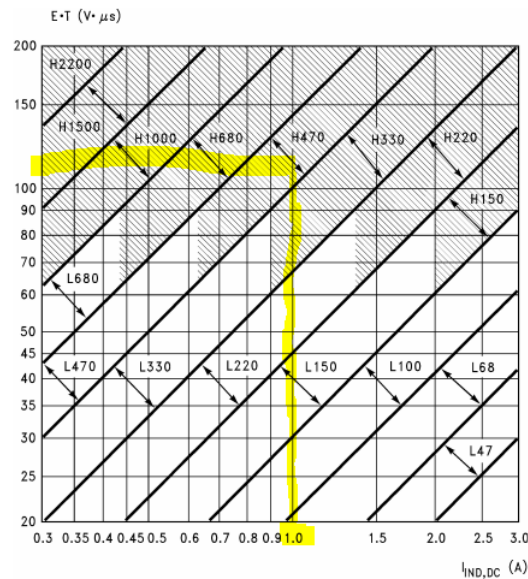
$$\frac{0.52(12V - 0.6V) \cdot 10^6}{52000} = 114V/\mu S \quad (5.3)$$

Ahora calculamos la corriente media bajo la carga máxima configurada (1 amperio):

$$I_{ND,DC} = \frac{1.05 \times I_{LOAD(max)}}{1 - D_{(max)}}$$

$$\frac{1.05 \cdot 1.05}{1 - 0.52} = 2.29A \quad (5.4)$$

Por lo tanto, tenemos que pensar que la bobina pueda aguantar esa intensidad para nuestra fuente. A continuación, nos explica que si la "D" es mas pequeña que 0.85, podemos ir directamente a una tabla, así que miramos la tabla teniendo en cuenta que nos ha dado $114V/\mu s$ y que queremos un amperio:



Ahora nos vamos a la página 19 y miramos una referencia de fabricante con la referencia de la tabla que nos han dado:

H470	67127090	PE - 53118	RL1961
------	----------	------------	--------

Buscamos esta referencia en un distribuidor que conozcamos:

PE-53118NL - Inductor Toroidal, Estándar, Conmutador, Serie Simple Switcher, 470 μH , 2 A, 0.17 ohm, $\pm 20\%$



Fabricante: PULSE ELECTRONICS
Referencia del fabricante: PE-53118NL
Código Farnell: 2215946
Gama de productos: Serie Simple Switcher
Hoja de datos técnicos: PE-53118NL Datasheet
[Vea todos los documentos técnicos](#)

La imagen solo tiene fines ilustrativos. Consulte la descripción del producto.

[Añadir a la comparación](#)

★★★★★

[Escriba Una Reseña](#)

[Hacer Una Pregunta](#)

Información del producto

☐ Rango de Producto: Serie Simple Switcher
☐ Inductancia: 470 μH
☐ Valor RMS de Corriente (Irms): 2A

☐ Resistencia DC Máxima: 0.17ohm
☐ Tolerancia de Inductancia: $\pm 20\%$

Por lo que nuestra referencia será la que nos da el propio datasheet: PE-53118NL.

- **Resistencia R1 y condensador C12** Este circuito estabiliza la fuente conmutada. Para calcularlo debemos de seguir el procedimiento que aparece en la página 19:

A. First, calculate the maximum value for R_C .

$$R_C \leq \frac{750 \times I_{LOAD(max)} \times V_{OUT}^2}{V_{IN(min)}^2}$$

Teniendo en cuenta que la intensidad máxima es 1A, el voltaje de salida es 24 y el voltaje de entrada mínimo es 12V (realmente, siempre será 12V).

$$\frac{750 \cdot 1A \cdot 24V^2}{12V^2} = 3000\Omega \quad (5.5)$$

A continuación nos indican que debemos de calcular los condensadores a la salida utilizando dos ecuaciones y nos debemos quedar con el valor mas grande:

B. Calculate the minimum value for C_{OUT} using the following two equations.

$$C_{OUT} \geq \frac{0.19 \times L \times R_C \times I_{LOAD(max)}}{V_{IN(min)} \times V_{OUT}}$$

and

$$C_{OUT} \geq \frac{V_{IN(min)} \times R_C \times (V_{IN(min)} + (3.74 \times 10^5 \times L))}{487,800 \times V_{OUT}^3}$$

Resolvemos la primera de las ecuaciones:

$$\frac{0.19 \cdot 220\mu H \cdot 3000\Omega \cdot 1A}{24V \cdot 12V} = 435\mu F \quad (5.6)$$

La segunda ecuación:

$$\frac{12V \cdot 3000 \cdot (12V + (3.74 \cdot 10^5 \cdot 220\mu H))}{4878000 \cdot 24^3} = 503\mu F \quad (5.7)$$

Como el valor mas grande ha sido $503\mu F$ deberemos de tener en cuenta que los condensadores de salida deberán tener como mínimo este valor.

A continuación calcularemos el valor de C12:

C. Calculate the minimum value of C_C .

$$C_C \geq \frac{58.5 \times V_{OUT}^2 \times C_{OUT}}{R_C^2 \times V_{IN(min)}}$$

Por lo tanto:

$$\frac{58.5 \cdot 24^2 \cdot 503\mu F}{3000^2 \cdot 12V} = 156nF \quad (5.8)$$

Por lo tanto, el valor que pondremos en C12 será 150nF, que es el valor mas proximo a este.

- **Integrado U2** Esta fuente de alimentación ha sido seleccionada porque es una fuente conmutada (por lo que tiene una alta eficiencia) y se le puede programar con resistencias fijas la tensión de salida. La configuraremos a 24V de salida. Al ser de la marca Texas Instruments, podemos estar seguros de que esta referencia no tendrá problemas de suministro.
- **Diodo D2** En la página 21 del datasheet nos aparece una tabla para seleccionar el diodo de la fuente conmutada. Tal y como podemos ver en la tabla, tenemos el mismo diodo que hemos utilizado para la fuente de 5V. A pesar de que la intensidad máxima la sobrepasamos por mucho (solo necesitamos 1A y este aguanta hasta 3A), seleccionaremos la misma referencia. El precio de uno y otro es muy similar:

1+	0,356 €		
10+	0,277 €	1+	0,422 €
100+	0,15 €	10+	0,323 €
1000+	0,112 €	100+	0,174 €
3000+	0,0973 €	1000+	0,132 €

A la izquierda tenemos el precio de la referencia del MBR140 para 1A y a la izquierda el MBR340 para 3A. Como únicamente vamos a necesitar uno de esta referencia para la fuente de alimentación, utilizaremos la misma referencia para facilitar la fabricación.

- **Resistencias R2 y R3** Estas resistencias sirven para que el integrado sepa que tensión hay en la salida y pueda regular la salida respecto a ello. Como estamos utilizando una fuente de alimentación conmutada ajustable, tenemos que ajustar estas dos resistencias para que la salida dé el voltaje que queremos. En la página 20 se muestra la formula:

$$V_{OUT} = 1.23V (1 + R1/R2)$$

Debemos tener en cuenta que seria bueno utilizar resistencias de la serie E12 para que las podamos encontrar fácilmente.

Tras unas cuantas pruebas, acabamos obteniendo los siguientes valores:

$$R1 = 33K\Omega \quad (5.9)$$

$$R2 = 1K8\Omega \quad (5.10)$$

- **Condensador C13** Este condensador se ha puesto para filtrar ruidos de alta frecuencia que pueda emitir la fuente de alimentación conmutada.
- **Condensadores C14, C15 y C16** Estos condensadores se han calculado cuando estábamos calculando la resistencia R1 y el condensador C12. El valor total debe ser igual o superior a 503μF, por lo que pondremos tres condensadores de 220μF.

6 Sistema de CAN

Este sistema será el encargado de gestionar la información entre el microcontrolador de la placa y el bus CAN del coche. Hemos de tener en mente que esta placa no controla nada que tenga que ver explícitamente con un motor de combustión (como por ejemplo, el tiempo de inyección de gasolina en las bujías), por lo tanto, hay cosas que no podemos saber de manera directa. Además, podemos tener mas sistemas externos que requieran ser escuchados o que se les envíe algún tipo de información. Gracias a la realización de este sistema podemos gestionar fácilmente todas estas características.

Los objetivos de este bloque son los siguientes:

- **Recibir información acerca del estado del motor** Una de las ventajas de este proyecto (Poder ser compatible con coche eléctrico y de combustión) también tiene una desventaja: No tenemos ninguna manera directa de saber el estado del motor. Gracias al bus CAN, podremos programar la centralita que esté haciendo funcionar el motor y recibir el estado de sus sensores de ese motor específico.
- **Enviar información a sistemas externos** Es muy posible que se añadan sistemas externos que realicen otro tipo de funciones (Como emisión de datos por RF), por lo que debemos de ser capaces de enviar información a través de este bus CAN, y no solo recibirlo.

Un diagrama de bloques sería el siguiente:

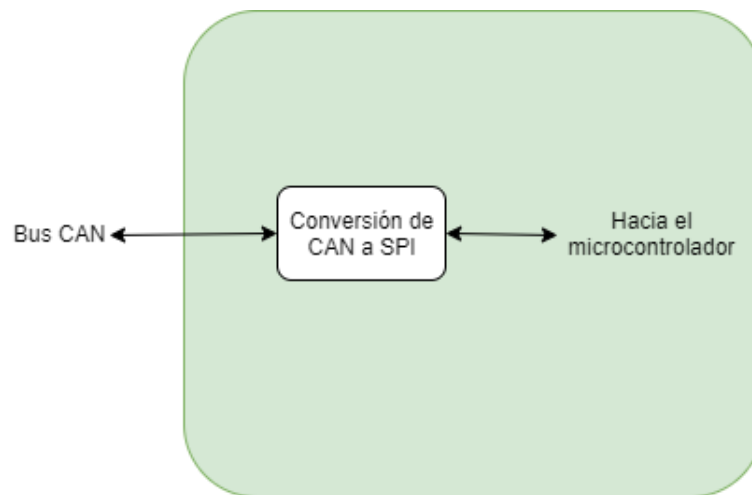
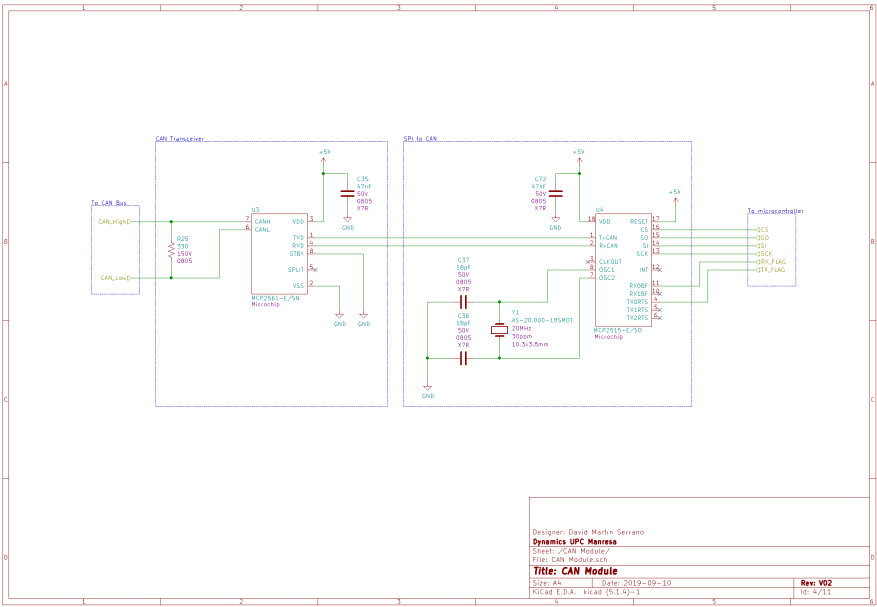


Diagrama de bloques del sistema de CAN

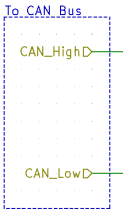
6.1 Diseño electrónico

El sistema de CAN estará formado por módulos que nos permitirán implementar fácilmente este tipo de bus en nuestra placa. La visión del esquemático es el siguiente:

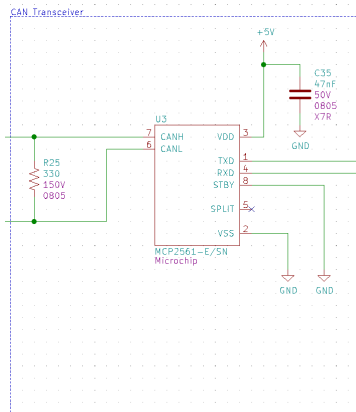


Visión general del sistema de CAN

En la primera parte tenemos la entrada del bus CAN. Recordemos que este bus es diferencial y requiere tanto una señal positiva como una negativa.

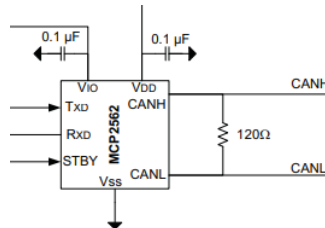


A continuación tenemos el transceptor:



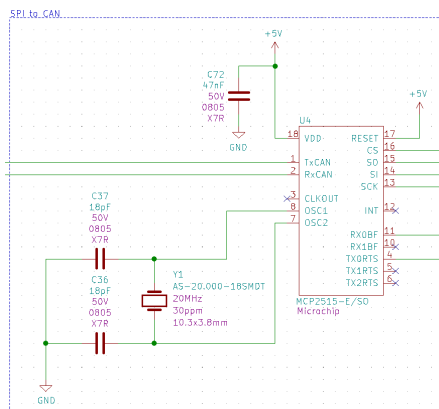
A continuación se explica cada componente de la parte del transceptor:

- **Resistencia R25** Esta es la resistencia de terminación. Sirve para adaptar la línea y evitar rebotes en el bus. A pesar de que esta resistencia puede variar en función del montaje, pondremos una resistencia de 120Ω , que es un valor que aparece en la página 6 del datasheet.



- **Integrado U3** Este integrado es el transceptor que comunica el MCP2515 con el bus CAN diferencial. Es un chip pequeño, que requiere muy pocos elementos externos para funcionar y que se puede encontrar muy fácilmente.
- **Condensador C35** Este es un condensador de desacoplo que se pondrá lo mas cerca posible de la alimentación del U3. Sirve para proporcionar alimentación al integrado cuando realiza conmutaciones internas de alta frecuencia.

Justo a la derecha tenemos el bloque del módulo de SPI a CAN:



En este bloque tenemos varios componentes:

- **Cristal Y1** Este cristal de cuarzo proporcionará el reloj para el MCP2515. Lo hemos puesto de 20MHz porque este es un valor estándar y porque a nivel de programación, en el propio datasheet del MCP hay un ejemplo de programación interna con un reloj de 20MHz, por lo que de esta manera nos ahorraremos calcular.
- **Condensadores C36 y C37** Este tipo de condensadores suelen ir junto a los cristales de cuarzo. Para saber su valor, vamos al datasheet del cristal de cuarzo, y allí directamente nos indican que el condensador que necesita sale en la propia referencia del cristal:

● PART NUMBERING SYSTEM

HOLDER TYPE		FREQUENCY	LOAD CAPACITANCE
AS	HC-49 SHORT	IN MHz	10 TO 32 pF FOR PARALLEL S FOR SERIES

Por lo que, nos está indicando que los condensadores deben de ser de 18pF.

- **Condensador C72** Condensador de desacoplo.
- **Integrado U4** Este es el integrado que convierte el SPI que proviene del micro en operaciones CAN. Como podemos observar, a parte del bus SPI también hemos extraído el pin de RX0BF y TX0RTS. Estos pines nos ahorrarán realizar operaciones de SPI para preguntar acerca del estado de los flags internos del chip.

7 Sistema del volante

El sistema del volante será el encargado de adaptar las señales que acciona el piloto desde el volante. Este sistema es muy importante ya que trata las señales que dan paso al cambio de marcha o al control del embrague.

La electrónica de esta parte será muy sencilla, pero es una parte muy crítica del coche a nivel de mecánica. A pesar de que esa parte no se contemple en este proyecto, será una cosa muy a tener en cuenta durante la fabricación del mismo, puesto que si mientras se conduce, se produce la rotura de algún botón o de alguna leva puede ser un grave problema.

Los objetivos de este bloque son los siguientes:

- **Recibir la información de la leva de embrague** El volante tendrá una leva que indicará la posición a la que el piloto quiere el embrague.
- **Recibir la información del cambio de marcha** También será el encargado de procesar un poco las señales que nos llegan de las levas de cambio de marchas para permitir tener los mínimos ruidos posibles a la hora de detectar estas señales que hacen cambiar de marcha.
- **Recibir información de los botones extra** También se implementarán cuatro botones extra para que se puedan añadir funcionalidades extra que no se tuvieran en mente desde un principio.

Un diagrama de bloques sería el siguiente:

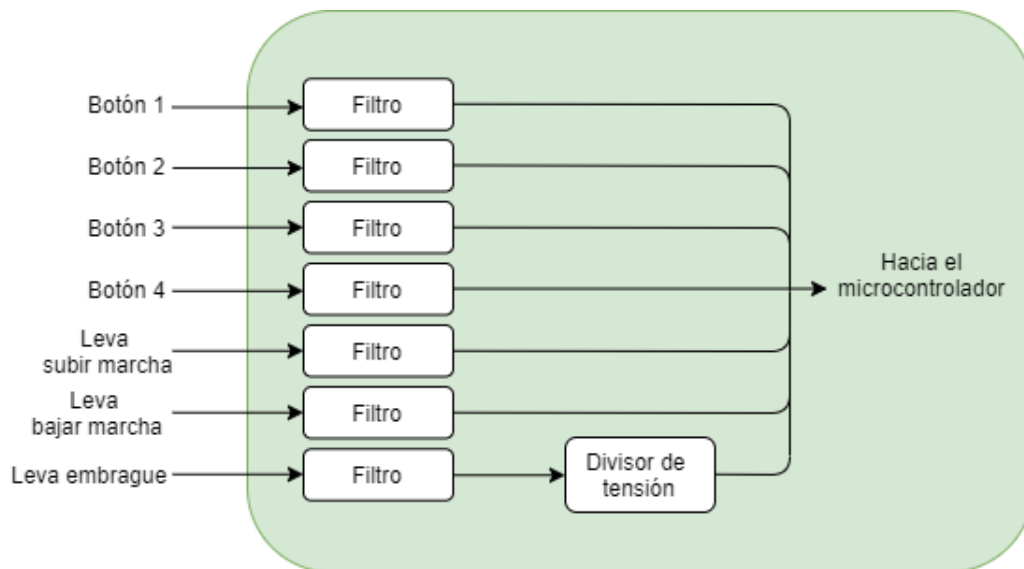
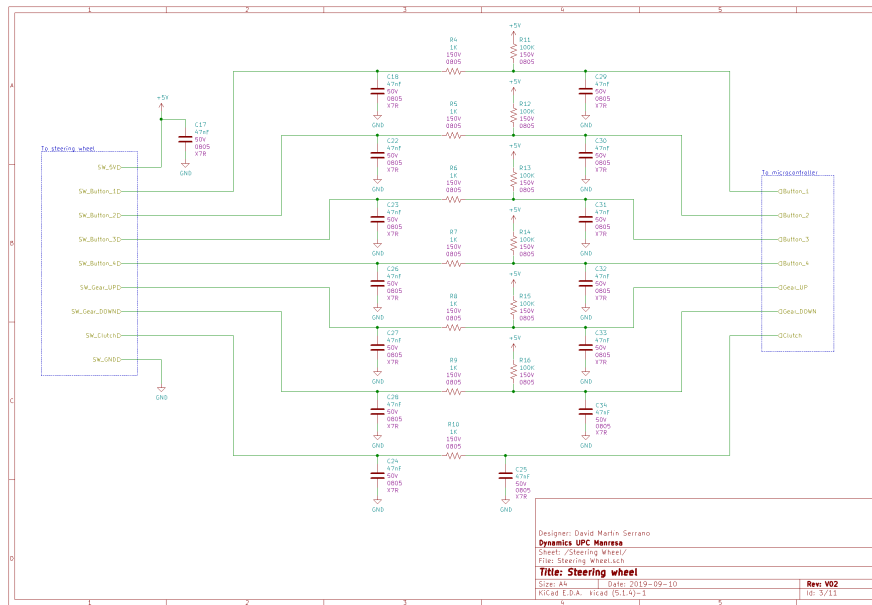


Diagrama de bloques del sistema del volante

7.1 Diseño electrónico

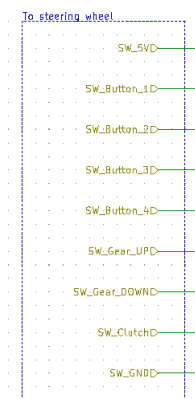
Este sistema simplemente envía alimentación al volante y recibe señales digitales y analógicas que simplemente debe de adaptar para el microcontrolador.

La visión general de este bloque és la siguiente:



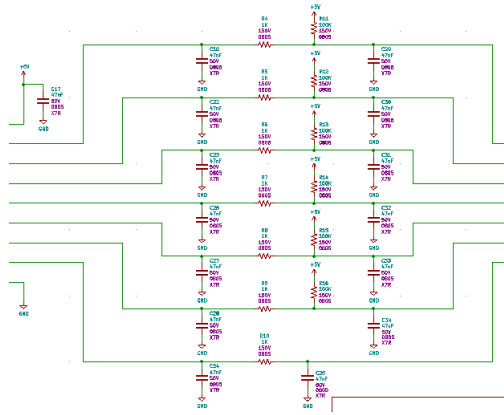
Visión general del sistema del volante

En la parte mas a la derecha tenemos la parte que va hacia el volante:



Tal y como podemos ver, enviamos alimentación hacia el volante, para que de esta manera podamos recibir señales de los botones. Hemos de tener en mente que los botones se ponen a nivel bajo cuando se pulsan. Recordemos también, que el embrague es una resistencia variable.

La parte central del esquemático tiene la parte de adaptación:



Los componentes que hay en esta zona son los siguientes:

- **Condensador C17** Condensador de desacoplo. Filtramos un poco las frecuencias altas que se pasan al volante a través de la alimentación.
- **Condensadores C18, C22, C23, C26, C27, C28, C24** Condensadores de filtrado para evitar ruidos de alta frecuencia provenientes del volante.
- **Resistencias R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10** Estas resistencias hacen un filtro paso bajo junto con los condensadores de $47\mu\text{F}$, con una frecuencia de corte de alrededor de 3KHz. Para calcular esta frecuencia hemos utilizado una calculadora on-line:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Calculadora de Filtro RC Paso Bajo

Introduzca 2 campos para calcular el valor del tercer campo

Introduzca la Resistencia, R: Ω (ohmios)

Introduzca la Capacitancia, C: nF (nanofaradios)

Introduzca la Frecuencia de Corte: Hz (hercio)

Frecuencia: 3,38799295297 KHz (o 3.387.9929529747 Hz)

- **Resistencias R11, R12, R13, R14, R15, R16** Estas resistencias sirven de *pull-up* para evitar que la por un error de conexión de los conectores, alguna pata se quede sin un valor logico y pueda dar problemas.
- **Condensadores C29, C30, C31, C32, C33, C34** Estos condensadores forman parte del filtro pasa bajos para evitar ruidos provenientes del volante.

Finalmente, todas estas señales van hacia el microcontrolador:



8 Sistema del embrague

Este sistema será el encargado de actuar sobre las válvulas que manipulan la presión en el sistema neumático del embrague. Los objetivos de este bloque son los siguientes:

- **Controlar la entrada de aire al cilindro neumático** Se requerirá una adaptación de señal a potencia para que una válvula controle la entrada de aire comprimido al pistón.
- **Controlar la salida de aire al cilindro neumático** Además, deberemos controlar la salida del aire del pistón.

Combinando la entrada y la salida de aire comprimido, podremos hacer que el cilindro se mueva a la posición deseada. Una característica especial de esta parte es que el propio embrague nos está ejerciendo una fuerza constante en la dirección de reposo del cilindro. El sistema neumático de control del embrague tiene el siguiente esquema:

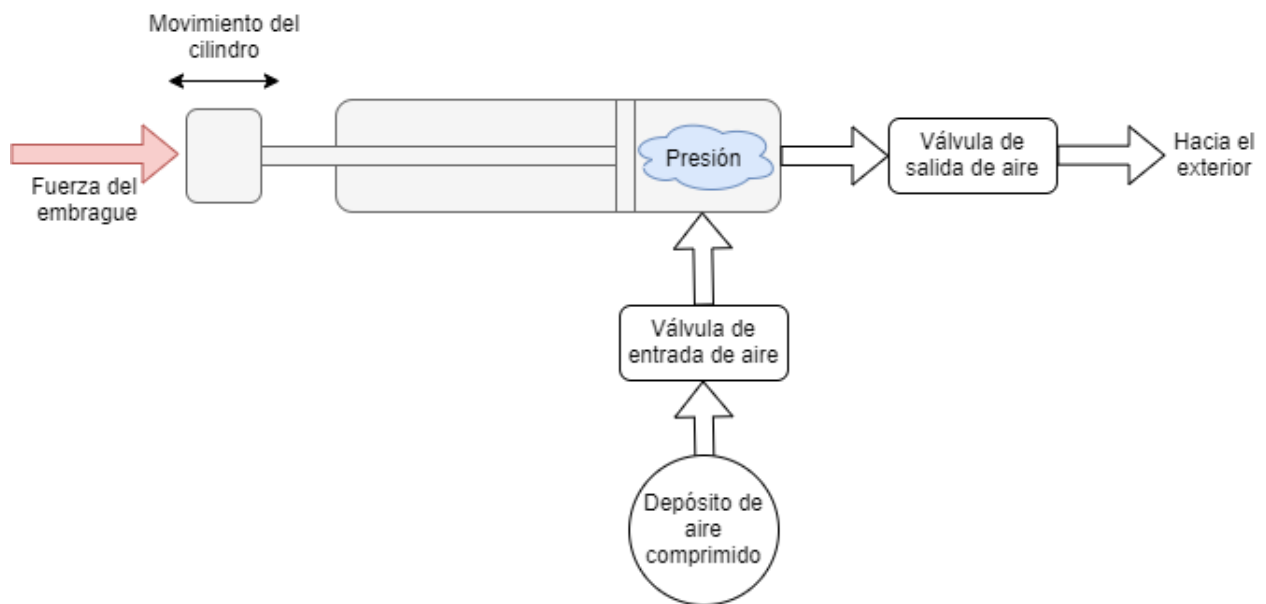


Diagrama de bloques del cilindro del embrague

Como podemos ver, simplemente tenemos que actuar sobre dos válvulas (una de entrada y otra de salida). El esquema de bloques de la electrónica sería el siguiente:

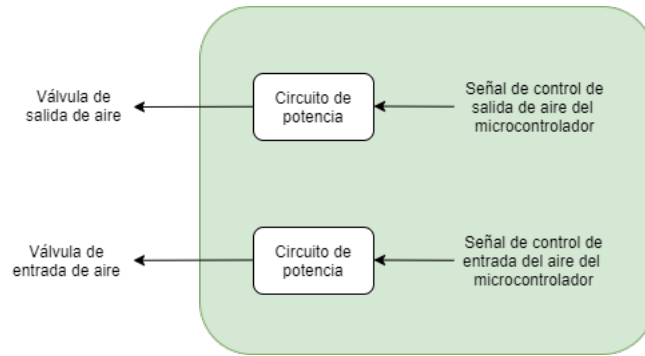


Diagrama de bloques del sistema del embrague

8.1 Diseño electrónico

Este sistema controlará un pistón de doble efecto utilizando dos válvulas regulables de la referencia PVQ30 de la marca SMC. Estas válvulas regulables tienen su máxima apertura cuando pasa a través de ellas 170mA (Cuanto trabajan a 12V). Debemos tener en mente que alimentaremos a 24V el circuito, pero realmente no llegará a haber 24V en la válvula ya que tendrá componentes en serie que absorberán parte del voltaje.

La idea de este circuito es que se introduzca una PWM de 1KHz a cada una de los controles. A continuación, esta señal pasa por un filtro pasa bajo que hace que únicamente nos quedemos con la parte continua del espectro de frecuencia. A partir de ese momento, utilizamos un seguidor para ir controlando la intensidad que pasa por la válvula y dejar pasar entre 0mA y los 170mA.

Sabiendo esto, el circuito que nos queda es el siguiente:

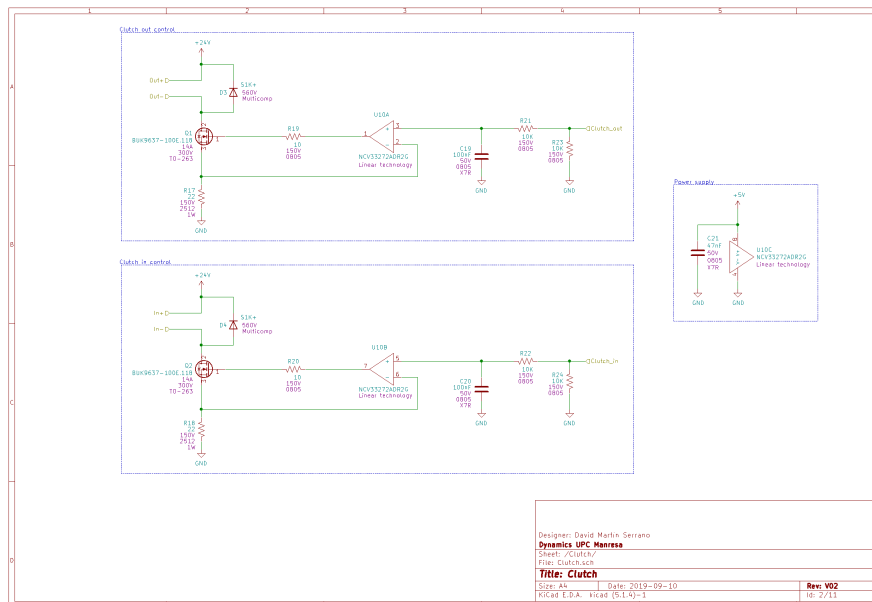
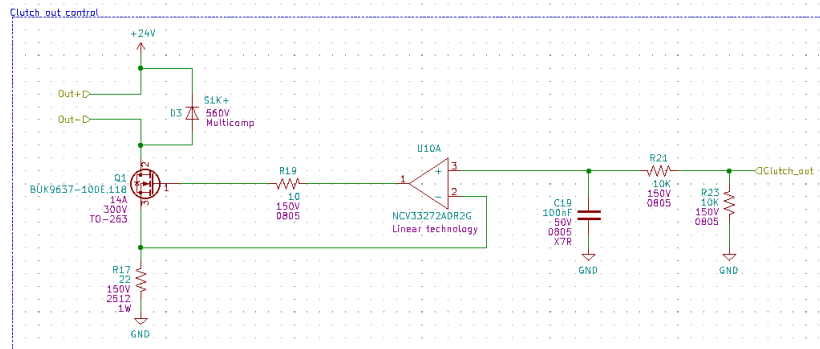


Imagen 56 - Visión general del sistema del embrague

Este sistema está formado por tres bloques: En el primer bloque tenemos el que saca aire del cilindro neumático:



Aquí podemos ver que desde la parte derecha llegará una PWM. A partir de aquí, los componentes que nos podemos encontrar son los siguientes:

- **Resistencia R23** Resistencia de *pull-down* para evitar que pueda haber algún problema y que este sistema se quede sin conexión a ningún nivel lógico.
- **Resistencia R21** Resistencia que hace un filtro pasa bajo para filtrar la PWM y dejar únicamente la continua en la entrada del operacional.
- **Condensador C19** Este condensador sirve para hacer el filtro pasa bajo junto con la resistencia R21. En total, tenemos una frecuencia de corte equivalente a:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Calculadora de Filtro RC Paso Bajo

Introduzca 2 campos para calcular el valor del tercer campo

Introduzca la Resistencia, R: KΩ (kilohmios)

Introduzca la Capacitancia, C: nF (nanofaradios)

Introduzca la Frecuencia de Corte: Hz (hercio)

Frecuencia: 159,2356687898 Hz

Por lo que al saber que una frecuencia cuadrada de 1KHz tendrá su primera componente a 1KHz, podemos estar seguro de que los armónicos estarán suficientemente atenuados como para que no afecten.

De todas maneras, es posible que lleguemos a recibir algún tipo de ruido a baja frecuencia que nos haga oscilar un poco la señal aplicada a la válvula. Debemos de pensar que estamos actuando sobre un sistema mecánico que de manera indirecta también nos está filtrando la señal puesto que tarda un tiempo en responder.

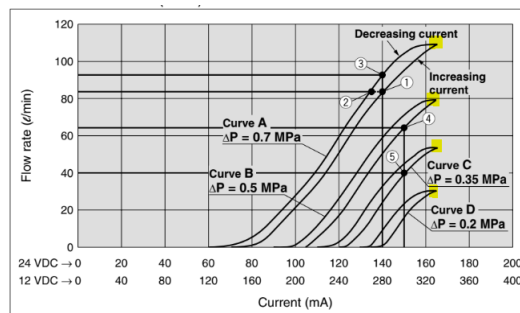
- **Integrado U10-A** Este operacional está configurado como modo seguidor. Su función consiste en ir comparando la señal de la resistencia sensorica que hay en serie con la válvula. Debemos tener en cuenta las siguientes condiciones:

- **El operacional está alimentado a 5V** Cuando el operacional tenga la salida a nivel alto estará dando 5V. Por lo que deberemos tener en mente de utilizar un actuador que pueda funcionar a ese voltaje.
- **Voltaje máximo en la entrada de la resistencia** La intensidad máxima que queremos que pase a través de la valvula és 170mA. Como la resistencia está en serie con la válvula, podemos afirmar que por la resistencia pasará como maximo 170mA. Utilizando la ley de ohm, vamos a ver que resistencia deberíamos poner para que con 170mA obtengamos 5V (que sería lo máximo que podríamos obtener de la PWM del microcontrolador):

$$\frac{5V}{R} = 170mA \quad (8.1)$$

$$\frac{5V}{170mA} = 29.41\Omega \quad (8.2)$$

Tal y como podemos ver, la resistencia ideal sería de 29.41Ω, pero como ese valor no existe, lo mejor sería poner el siguiente valor inferior (Que sería 27Ω). Con un valor inferior, nunca llegaríamos al 100% de potencia teórica, pero según el datasheet (Página 4), la ultima parte de la obertura se vuelve plana, por lo que casi no nos veremos afectados por esto.



De todos modos, acabaremos poniendo una resistencia de 22Ω porque se dispone de referencias adicionales en el taller y no se descarta de que se acabe poniendo otro tipo de válvula (que requiere como máximo 200mA) en el caso de que la mecánica lo requiera.

- **Resistencia R19** Esta resistencia no haría falta en el caso de que pongamos un transistor JFET, pero la vamos a poner porque de esta manera disminuimos las posibles oscilaciones internas del transistor. También aprovecharemos la huella por si en algún momento del diseño del coche queremos cambiar un tipo JFET por uno BJT. De esta manera ya tendríamos la resistencia de la base.
- **Transistor Q1** Este transistor tipo JFET irá controlando la intensidad que pase a través de la válvula. Hemos seleccionado este teniendo en mente las siguientes condiciones:
 - **Intensidad** Como hemos visto, la máxima tensión que pasará a través de este componente serán 170mA, por lo tanto, debemos de encontrar un componente que cumpla esta condición.
 - **Voltaje de la base** El voltaje que se le tiene que aplicar a la *gate* del JFET que vamos a utilizar debe ser compatible con el voltaje que nos puede dar el operacional (5V).
 - **Encapsulado** El formato del componente debería de ser cómodo de soldar , porque es muy posible que esta placa se suelde a mano. Además, debemos evitar encapsulados específicos de marca por si en algún momento se debe de cambiar la referencia del componente.

- **Disponibilidad de stock** Es recomendable encontrar un componente que además de que cumpla los requisitos, sea fácil de encontrar stock.
- **Adaptación a cambios** Debemos de conseguir un componente que no vaya muy justo a las características de la válvula, ya que, a pesar de que sería extraño, debemos de pensar que en cualquier momento el equipo podría decidir cambiar otro tipo de válvulas (Por razones de mecánica, patrocinio, etc...)

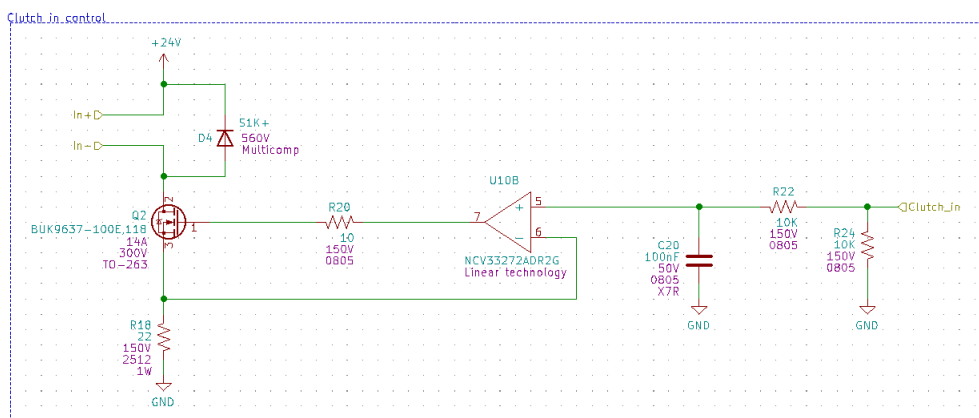
Teniendo en mente todos estos puntos, hemos decidido poner un JFET de referencia BUK9637-100E,118. És de canal N.

- **Resistencia R17** Esta es la resistencia sensórica que servirá para que el operacional vaya pudiendo detectar la intensidad que está pasando por la válvula. Hemos puesto que el encapsulado pueda aguantar un vatio, pues que si calculamos la potencia máxima que disipará:

$$P = 5V \cdot 170mA = 850mW \quad (8.3)$$

- **Diodo D3** Este diodo sirve de protección al circuito. Recordemos que la válvula, al fin y al cabo es una bobina. Por lo tanto, si la estamos haciendo funcionar y la paramos en seco, realizará un pico inverso de voltaje. Este diodo se encargará de dejar pasar esa pico y mantener seguro el circuito electrónico.
Se ha elegido el de referencia SK1+ porque puede aguantar picos de hasta 1 amperio. Además, este componente tiene mucho stock y ya disponíamos de el en el taller.

A continuación tenemos el siguiente bloque de control. En este caso esta parte se encarga de introducir la presión en el cilindro neumático. Este circuito es igual al anterior que hemos visto:

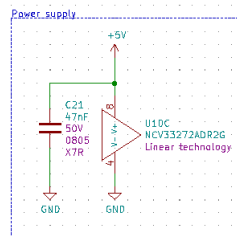


Los componentes de esta parte tienen su equivalente en el circuito anterior:

- **Resistencia R24** Ver R23 en el circuito anterior.
- **Resistencia R22** Ver R21 en el circuito anterior.
- **Condensador C20** Ver C19 en el circuito anterior.
- **Integrado U10-B** Ver U10-A en el circuito anterior.
- **Resistencia R28** Ver R19 en el circuito anterior.

- **Transistor Q2** Ver Q1 en el circuito anterior.
- **Resistencia R18** Ver R17 en el circuito anterior.
- **Diodo D4** Ver D3 en el circuito anterior.

Por ultimo, tenemos la parte de alimentación del operacional:



Los componentes en esta ultima parte son los siguientes:

- **Integrado U10C** Esta es la parte de alimentación del operacional que controla la señal que llega a los JFETS de las válvulas. Está alimentado a 5V.
- **Condensador C31** Este es un condensador de desacoplo.

9 Sistema de cambio de marchas

El sistema de cambio de marchas será el encargado de convertir las señales de control a una señal de potencia que le llegará a las válvulas de cambio de marchas. Los objetivos de este bloque son los siguientes:

- **Controlar la posición del cambio de marcha** El cilindro de cambio de marcha puede estar en tres posiciones. La posición neutra se encuentra en la mitad del recorrido. Esta posición es alcanzada automáticamente puesto que la propia mecánica tiende a estar en esta posición. La posición de subir marcha se encuentra a un extremo del cilindro y permite a la mecánica colocar la cadena en una marcha superior. Por el contrario, la posición de bajar marcha se encuentra al lado contrario que la de subir.
- **Controlar la entrada de aire al sistema de cambio** La velocidad de movimiento a la hora de cambiar marchas afecta en gran medida a como se cambia de marcha. En su uso normal, si ponemos la presión del calderín del coche, las marchas se cambian de manera normal. En cambio, con esta presión el cambio de marcha se mueve tan rápido que no permite poner el punto muerto. Por tanto, necesitamos alguna manera de poder reducir la presión que recibe el cilindro hidráulico. De esta manera bajaremos su velocidad y podremos poner la mecánica en punto muerto.

El sistema neumático de control de las marchas tiene el siguiente esquema:

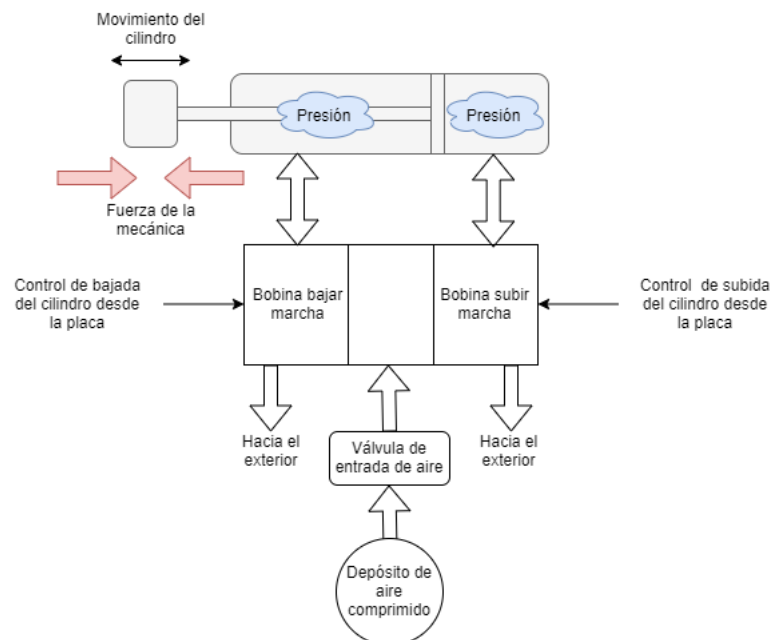


Diagrama de bloques del cilindro de cambio de marcha

En este caso tendremos una válvula de entrada de aire, y dos accionadores que cuando están activos, comunicarán su lado del cilindro con la presión. En cambio, cuando estén desactivados expulsarán la presión del cilindro. El esquema de bloques de la electrónica sería el siguiente:

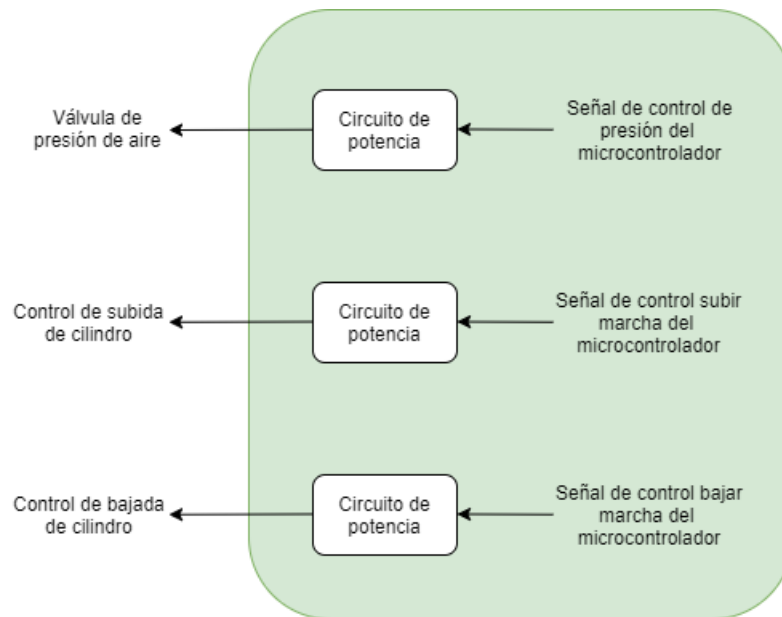


Diagrama de bloques del sistema de cambio de marchas

9.1 Diseño electrónico

Este sistema controlará la entrada de aire al cambio de marchas y las dos electroválvulas que controlan la posición del cilindro. La imagen de este sistema es el siguiente:

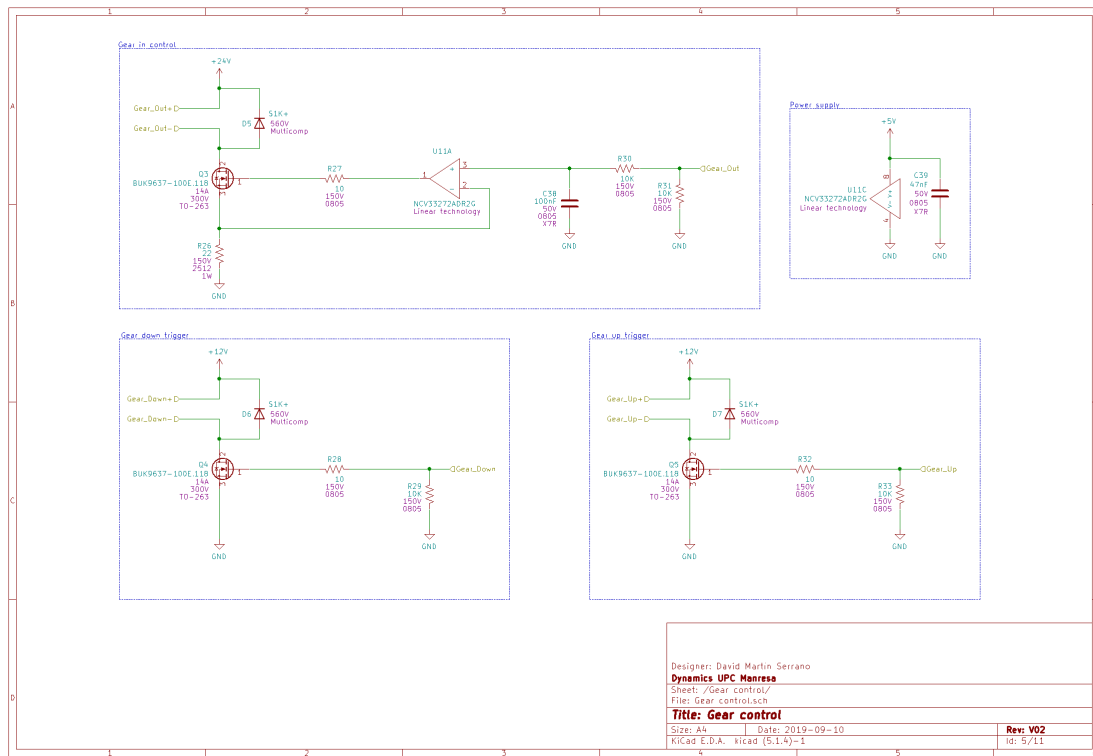
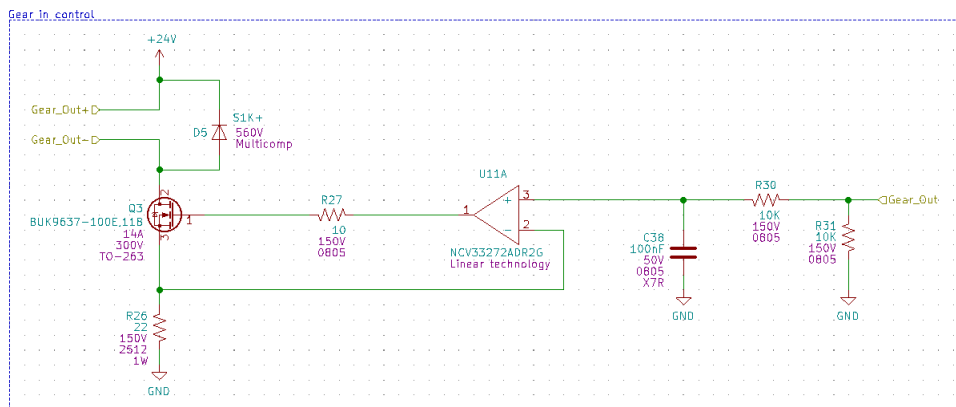


Imagen 62 - Visión general del sistema de cambio de marchas

Debemos tener en mente que los actuadores que funcionarán para poner el cilindro en modo subir o bajar será de la familia "215R" de la marca "M & M International". Estas válvulas funcionan a 24V y consumen 7W (En total sería unos 580mA).

CODE	voltage	pow holding
2150	12V DC	7W
2250	24V DC	
2350	48V DC	

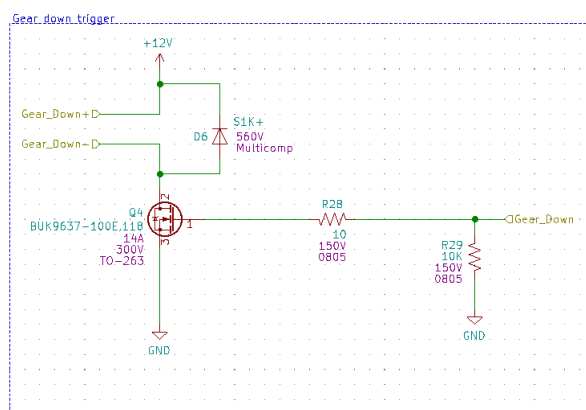
En primer lugar, tenemos el bloque que se encarga de poner la presión en el cambio de marcha, y regularlo dependiendo de si se quiere pasar de marcha de manera normal o se quiere cambiar de primera marcha a punto muerto:



Los componentes son los mismos que la parte de control del embrague:

- **Resistencia R31** Ver R23 en el sistema del embrague.
- **Resistencia R30** Ver R21 en el sistema del embrague.
- **Condensador C38** Ver C19 en el sistema del embrague.
- **Integrado U11-A** Ver U10-A en el sistema del embrague.
- **Resistencia R27** Ver R19 en el sistema del embrague.
- **Transistor Q3** Ver Q1 en el sistema del embrague.
- **Resistencia R26** Ver R17 en el sistema del embrague.
- **Diodo D5** Ver D3 en el sistema del embrague.

Justo debajo tenemos el siguiente bloque. Este bloque actua sobre el accionador que pone el cilindro en modo "bajar marcha":

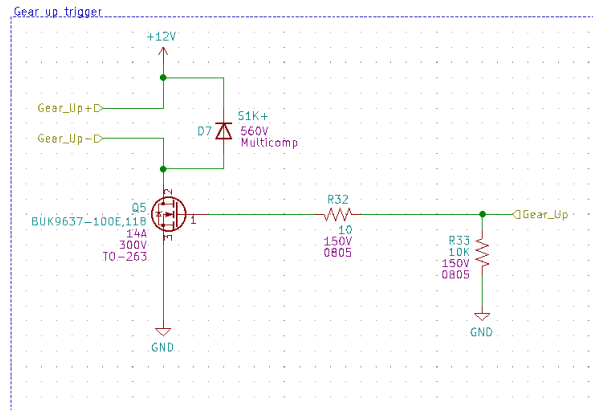


Los componentes son los siguientes:

- **Resistencia R29** Ver R23 en el sistema del embrague.
- **Resistencia R28** Ver R19 en el sistema del embrague.

- **Transistor Q4** Este transistor JFET controlará la valvula de posicionamiento de bajar marcha. Hemos seleccionado la misma referencia que hay en el control de las valvulas regulables porque aguanta el voltaje, tiene un voltaje de *gate* que se puede conectar a 5V, y porque así unicamente tenemos una referencia para controlar la parte de la neumatica.
- **Diodo D6** Ver D3 en el sistema del embrague.

A la derecha de este bloque, tenemos el que pone al sistema en modo subir marcha:



Los componentes son los siguientes:

- **Resistencia R33** Ver R23 en el sistema del embrague.
- **Resistencia R32** Ver R19 en el sistema del embrague.
- **Transistor Q5** Ver Q4 en el bloque anterior.
- **Diodo D7** Ver D3 en el sistema del embrague.

10 Sistema de sensores

En este bloque se incluirán todos los sensores de los que tiene el control nuestra electrónica. Únicamente no se incluirán los sensores que tengan que ver con el sistema del acelerador electrónico, ni sensores que puedan ser actuados por el piloto desde su puesto de conducción. Estas partes se explicarán en sus pertinentes bloques.

Los sensores que observará este sistema serán los siguientes:

- **Sensores del *plausability*** Estos sensores son los que se reciben de una placa llamada *Plausability*. Esta placa se dedica a controlar la seguridad de los pedales de aceleración y freno. Según la normativa esta placa debe de ser no programada y encontrarse separada de todo el resto de sistemas, por lo que no se ha implementado en este proyecto. De todas maneras, gracias a ella podemos saber si se ha activado el sistema de seguridad, el estado del acelerador y el estado del freno.
- **Sensor del depósito de gasolina** Este sensor resistivo será el que indicará el estado de llenado del depósito de gasolina.
- **Sensores de ruedas** Estos sensores se ubicarán en cada una de las ruedas e irán detectando el paso de las ruedas por un punto de referencia. De esta manera sabremos la velocidad que ha tardado la rueda en dar una vuelta (Y así poder medir la velocidad del coche).
- **Sensor de suspensiones** El coche tendrá en total cuatro sensores para las suspensiones (una por cada rueda). Estos sensores de tipo resistivo nos indicarán como están siendo comprimidas.
- **Sensor hidráulico** Este sensor está ubicado físicamente en el cambio del embrague del motor, y nos permitirá saber en que posición exacta está el embrague. Debemos de tener en mente que a pesar de que actuemos sobre un circuito hidráulico para cambiar de marcha, al final esto acaba resultando en modificar un la presión hidráulica dentro del propio motor.
- **Sensores del estado de aceite** Tendremos dos sensores resistivos que nos indicarán la temperatura y la presión del aceite que hay en el motor. En el caso de que fuera un coche eléctrico, estos sensores comprobarían otro tipo de líquidos.

Recordemos que cada uno de estos circuitos es diferente, por lo que tendremos que hacer unos circuitos que adapten las señales individuales de cada una de los sensores. El esquema de bloques de la electrónica sería el siguiente:

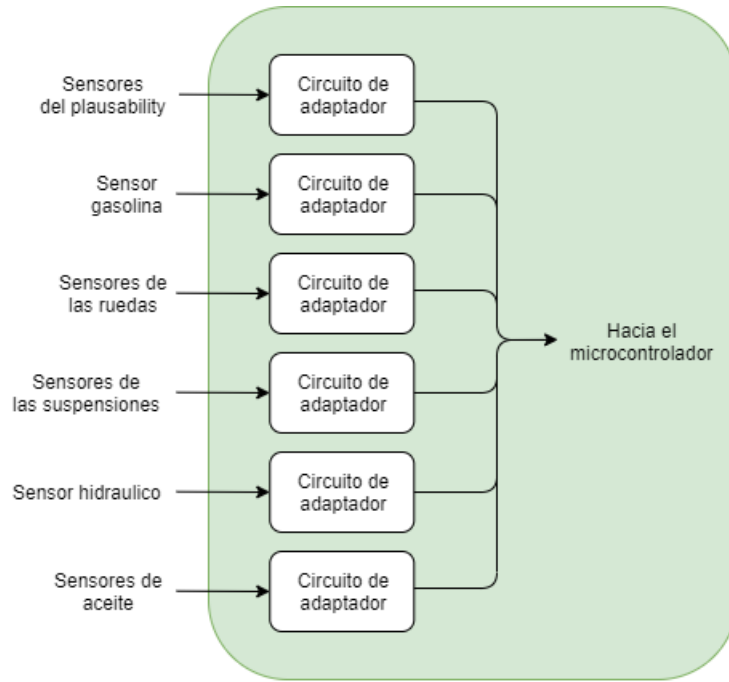
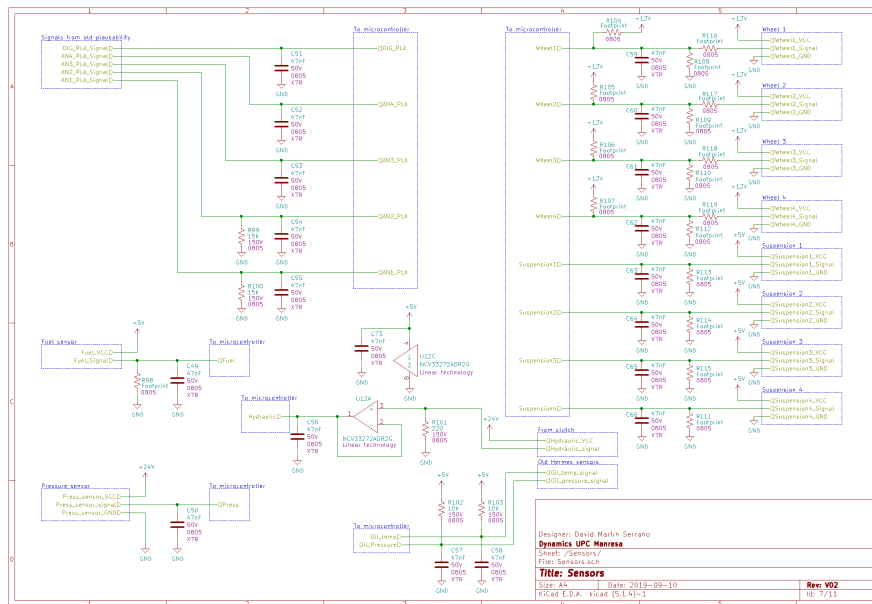


Diagrama de bloques del sistema de sensores

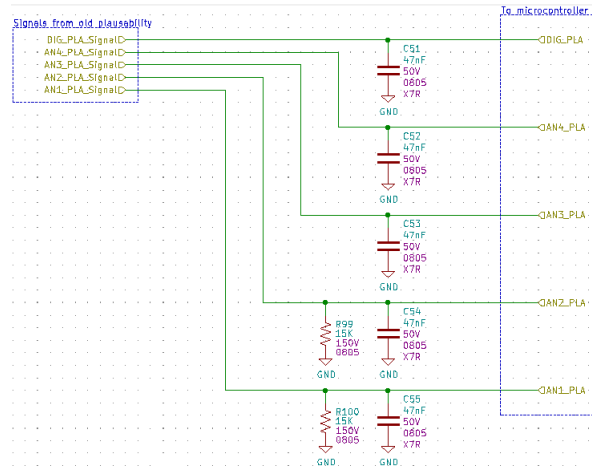
10.1 Diseño electrónico

Esta parte de la electrónica es la que adapta todos los sensores al microcontrolador. Su bloque general es el siguiente:



Visión general del sistema de sensores

En la parte superior izquierda tenemos el primer bloque: Esta se dedica a leer la información que llega del sistema externo del *plausability*. Esta placa se encuentra justamente encima de nuestra electrónica.



Este circuito se ocupa de realizar la función de evitar que el piloto pueda realizar el conocido como *punta tacón*. Esto aparece en la página 55:

T11.6 Brake System Plausibility Device (BSPD)

A pesar de que nuestra electrónica no realiza esta función (ya que este sistema debe de ser no programable y estar en una placa aislada), lo que si que podemos hacer es recibir información acerca de el. Nos enviará cinco señales en total:

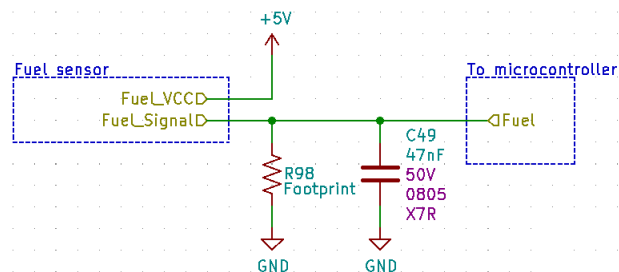
- **Valor de posición del pedal de freno** El *plausability* tiene en todo momento el conocimiento de la posición del pedal. Nos proporcionará este valor con un valor entre 0V y 8V. Esta pata tiene en su parte del circuito una resistencia en serie de 10K Ω .
- **Valor del punto programado del freno** Como el sistema del *plausability* no admite ningún tipo de programación, se han puesto potenciómetros para configurar el punto en el que el freno tiene que considerarse como pulsado. Recibiremos una señal de 0V a 8V con este valor. También hay una resistencia de 10K Ω en serie.
- **Valor de posición del pedal de acelerador** También recibiremos la posición del pedal del acelerador. Esta señal será de 0V a 5V, con una resistencia de 10K Ω en serie.
- **Valor del punto programado del acelerador** Igual que con el freno, el acelerador también se tiene que programar de manera analógica para saber si se detecta como "pulsado". Esta señal va de 0 a 5V. También hay una resistencia de 10K Ω en serie.
- **Estado de activación de la seguridad** En el caso de que la placa del *plausability* se active, se indicará con 5V. En caso contrario lo tendremos constantemente a 0V.

Los componentes de este bloque son los siguientes:

- **Resistencia R100** Esta resistencia sirve de divisor de tensión para la señal del valor de posición del pedal del freno. Así convertiremos de 0V-8V a 0V-4.8V. Recordemos que al haber una resistencia en serie de 10 Ω , si ponemos una resistencia a masa de 15K Ω conseguiremos que cuando el *plausability* nos proporcione 8V, nosotros lo convertiremos a 4.8V (15 es un valor estándar de la serie E12).

- **Condensador C55** Esta condensador sirve para filtrar altas frecuencias.
- **Resistencia R99** Esta resistencia hace lo mismo que la R100, pero por aquí recibiremos el valor de configuración del freno.
- **Condensador C54** Esta condensador sirve para filtrar altas frecuencias.
- **Condensador C53** Esta condensador sirve para filtrar altas frecuencias. Por aquí recibiremos el valor actual del acelerador.
- **Condensador C52** Esta condensador sirve para filtrar altas frecuencias. Por aquí recibiremos el estado actual de la configuración del acelerador.
- **Condensador C51** Esta condensador sirve para filtrar altas frecuencias. Por aquí recibiremos si la seguridad del plausability ha sido activada.

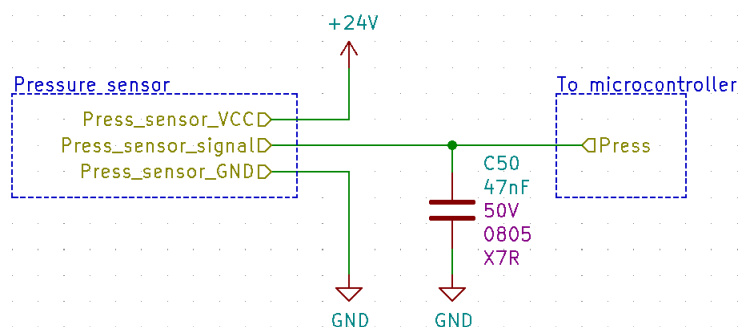
El siguiente bloque que miraremos será el que se encarga de observar el estado de llenado del depósito:



El sensor de gasolina es simplemente un potenciómetro que variará su valor de resistencia. Se tienen varias referencias de sensores, y aunque acabará siendo resistivo, no sabemos su valor exacto. Los componentes son los siguientes:

- **Resistencia R98** Esta resistencia sirve para hacer de divisor de tensión junto con la resistencia del sensor. Únicamente tenemos puesta la huella del componente, y pondremos la resistencia en función del valor del sensor que se ponga finalmente.
- **Condensador C49** Este condensador sirve para filtrar altas frecuencias.

Justo debajo tenemos el bloque del sensor de presión de aire comprimido. Este sensor nos servirá para conocer el estado de presión del calderín del coche. El sensor tiene la referencia PSE541 y es de la marca SMC. Requiere 24V de alimentación y ofrece una señal de 1V a 5V. De esta manera podremos informar de cuando tengamos poca presión y que sea posible que el coche no pueda continuar haciendo funcionar su sistema de cambio de marchas:

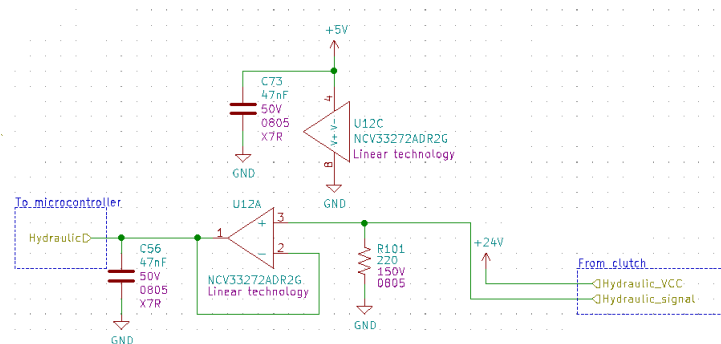


El componente que tiene es el siguiente:

- **Condensador C50** Este condensador sirve para filtrar altas frecuencias.

Justo a la derecha de este bloque, tenemos el del sensor hidráulico. Recordemos que cuando estamos actuando sobre la neumática que controla el embrague, realmente estamos actuando sobre un circuito hidráulico. Por lo tanto, si queremos conocer la posición exacta del embrague, a pesar de que estemos actuando sobre el sistema neumático, nos es mucho mas fiable leer directamente la presión hidráulica que se encuentra dentro del motor.

Para esta función utilizaremos un sensor de presión modelo "A-10" de la marca *Wikai*. Este sensor únicamente tiene 2 cables (Alimentación y señal). Se ha utilizado este sensor porque es el mismo que se utiliza en los frenos del coche para conocer el estado de estos. Además, como tiene muchos rangos de medición, los departamentos mecánicos pueden seleccionar justamente el que se adapte a la presión del embrague. De todas maneras todos estos sensores tienen una salida de 4mA a 20mA, por lo que no nos importa el rango, si no mas bien que únicamente la presión hidráulica no supere el rango del componente escogido.



Los componentes son los siguientes:

- **Resistencia R101** Esta resistencia es por la que pasará la intensidad que otorgue el sensor. Queremos que cuando el sensor esté al máximo (20mA) la resistencia llegue a 5V, que es el máximo nivel que puede detectar el microcontrolador:

$$5V = 20mA \cdot R \quad (10.1)$$

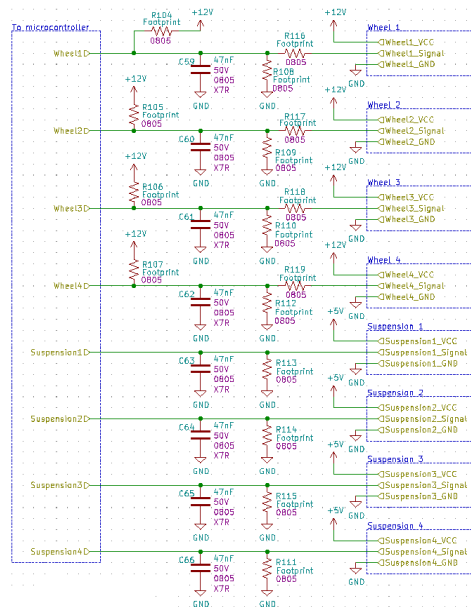
$$5V / 20mA = R = 250\Omega \quad (10.2)$$

El valor que nos da no es un valor estándar de la serie E12, por lo que pondremos el valor inmediatamente inferior (220Ω). A pesar de que cuando el sensor esté a 20mA, no nos proporcione el máximo valor, nos es mas que suficiente para controlar el estado del embrague (Debemos de recordar que únicamente trabajaremos en una zona intermedia del embrague cuando arranquemos, en el resto de cambios el embrague siempre estará al máximo o al mínimo).

- **Integrado U12A** Este este operacional en modo seguidor lo que hará será adaptar la tensión para que esta se pueda enviar directamente hacia el microcontrolador.
- **Condensador C56** Este condensador sirve para filtrar altas frecuencias.
- **Integrado U12C** Esta es la parte de alimentación del operacional. Estará alimentado a 5V.

- **Condensador C73** Este es un condensador de desacoplo.

Por ultimo tenemos la parte de sensores que se dedican a leer los sensores de velocidad de giro de las ruedas, y los detectores de las suspensiones:



Debemos de tener en mente que esta parte es configurable: Se han puesto muchss huellas de resistencias, de manera que se pueda configurar para utilizar tanto sensores resistivos como sensores digitales. Se ha diseñado de esta manera porque esta es una parte en la que ha habido muchos problemas a nivel mecánico y se ha comprobado que lo mejor sería dejar el circuito configurable. De todas maneras, explicaremos los sensores que se supone que tienen que ir conectados aquí, pero se debe de tener en mente que puede ser que en algún momento se quieran cambiar por razones ajenas a la electrónica y el circuito tiene que estar preparado para ello. Los dos grandes bloques que tiene esta parte son los siguientes:

- **Bloque de velocidad de ruedas** Las cuatro entradas superiores tienen como objetivo ir comprobando la señal digital que se recibe de un sensor de infrarrojos, que envia 5V cada vez que le rebota el haz de luz que emite. En caso contrario recibe masa. Los sensores que en primera instancia estén conectados aquí serían los IE5338 de la marca *IFM*.
- **Bloque de suspensiones** En la mecánica de cada una de las ruedas se encuentra una suspensión que tiene integrada una resistencia variable de referencia KPM-250mm, que tienen de resistencia de recorrido 1K Ω .

Los componentes que hay en este bloque son los siguientes:

- **Resistencias R104, R116, R108, R105, R117, R109, R106, R118, R110, R107, R119, R112, R113, R114, R115, R111** Estas son las resistencias configurables. Se debe tener en mente que estas resistencias pueden variar de valor, pero todas acabarán teniendo el encapsulado 0805.
- **Condensadores C59, C60, C61, C62, C63, C64, C65, C66** Estos condensadores sirven para filtrar altas frecuencias.

11 Sistema del salpicadero

Este sistema será el encargado de enviar las señales a todos los LEDs que hay en el salpicadero del coche. También procesará el botón que hay en el salpicadero para activar la precarga de gasolina. Se controlarán las siguientes partes:

- **LED indicador de error de plausability** En el caso de que el plausability nos informe de que ha activado su sistema de seguridad se encenderá este LED.
- **LED indicador de la precarga** En el caso de que se active la bomba de precarga de gasolina se encenderá este LED.
- **LED indicador de error del acelerador electrónico** En el caso de que ocurra un fallo en el sistema del acelerador electrónico, este LED se encenderá.
- **LED indicador de gasolina** Si la gasolina llegara a niveles muy bajos, este LED se encenderá.
- **LED indicador de error de presión neumática** Activo cuando la presión del calderín de aire comprimido está a unos niveles muy bajo, y es posible que el coche no cambie de marcha correctamente.
- **LED indicador de error en alimentación de bajo voltaje** Este LED siempre estará activo y únicamente se apagará cuando la alimentación de la electrónica falle
- **LED indicador de error de temperatura de aceite** Si la temperatura del aceite se incrementa mucho se iluminará este LED.
- **LED indicador de error de presión de aceite** Si la presión del aceite se incrementa mucho se iluminará este LED.
- **LED indicador de RPMs** En total habrá nueve LEDs que indicarán el estado de las rotaciones por minuto del motor
- **Indicador de temperatura de refrigerante** Tres siete segmentos que se encargarán de mostrar la temperatura actual del refrigerante del motor.
- **Indicador de marcha** Un siete segmentos mostrará la marcha actual.
- **Botón de iniciar la precarga** Un botón permitirá al piloto iniciar la precarga de gasolina.
- **Sistema de activación de la precarga** Debe disponer de un sistema que nos permita actuar sobre el relé que controla la bomba de gasolina.

Debemos de tener en mente que habrá otra placa electrónica en el salpicadero que únicamente contendrá los LEDs y conectores. Por lo tanto, toda la electrónica que actúa y da la potencia a los LEDs deberá estar en este circuito.

El esquema de bloques de la electrónica sería el siguiente:

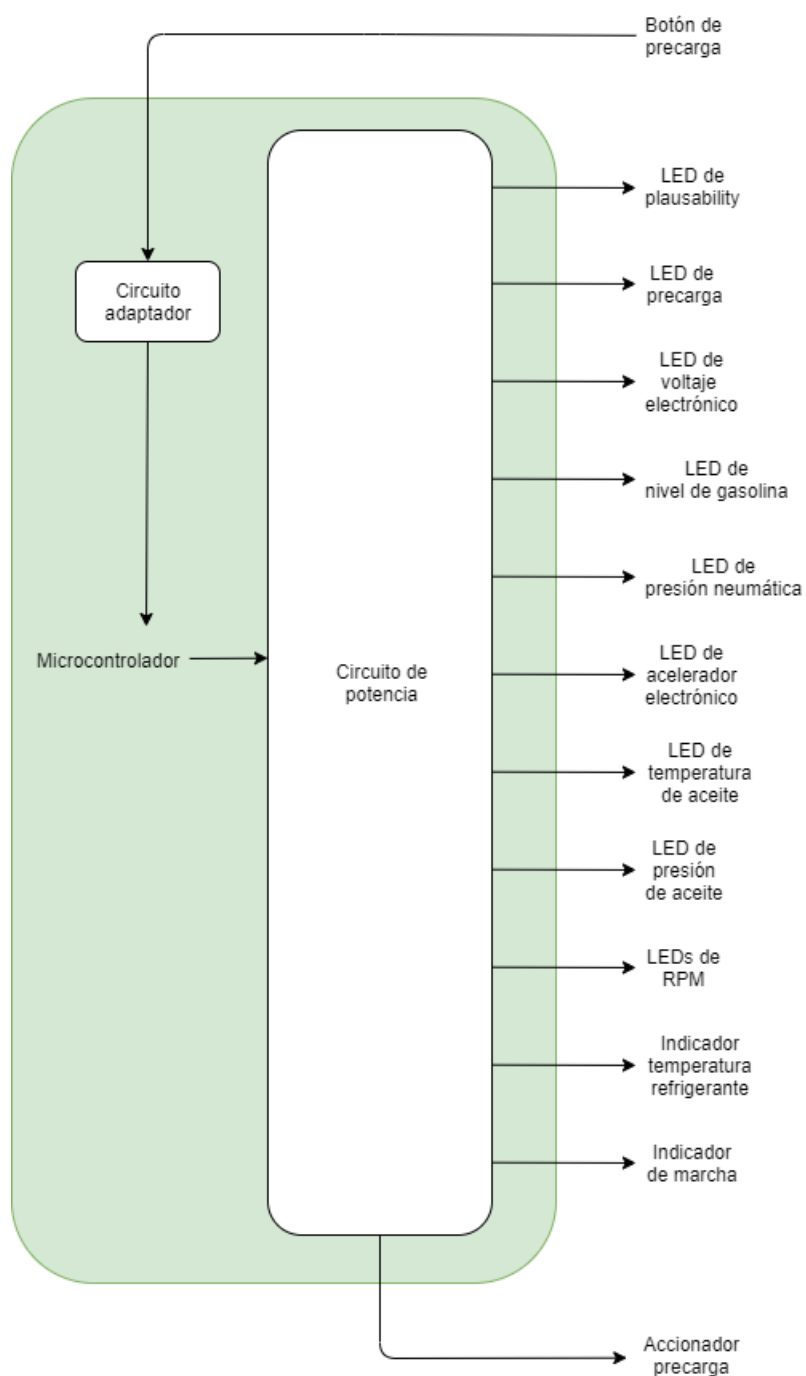


Diagrama de bloques del sistema del salpicadero

11.1 Diseño electrónico

Esta parte es la que se encarga de todo lo que se encuentre en la parte del salpicadero: tanto indicadores como el actuador de precarga.

- **Resistencia R45** Esta resistencia será la que controle la corriente que pasa por la base del transistor y permita el paso de corriente por el LED.
En la página 2 del datasheet, aparece la mínima ganancia del transistor:

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min.
Collector - Base Breakdown Voltage	$V_{BR CBO}$	$I_C=10\mu A, I_E=0$	50
Collector - Emitter Breakdown Voltage	$V_{BR CEO}$	$I_C=10mA, I_E=0$	45
Emitter - Base Breakdown Voltage	$V_{BR EBO}$	$I_E=10\mu A, I_C=0$	5
Collector Cut-off Current	I_{CBO}	$V_{CE}=25V, I_E=0$	
Emitter Cut-off Current	I_{EBO}	$V_{CE}=4V, I_C=0$	
DC Current Gain	BC817 BC817-16 BC817-25 BC817-40	h_{FE} $V_{CE}=1V, I_C=100mA$	100 100 160 250
DC Current Gain	BC817 BC817-16 BC817-25 BC817-40	h_{FE} $V_{CE}=1V, I_C=300mA$	40 60 100 170

En el peor de los casos tendríamos 170 de ganancia. Por lo tanto, si ponemos una resistencia de $1K\Omega$ y restamos 1V de la tensión V_{CE} , nos aparece que por la base estaría pasando una intensidad de:

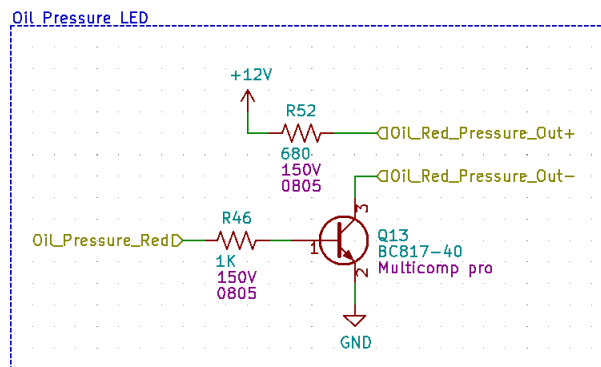
$$\frac{5V - 1V}{1K\Omega} = 4mA \quad (11.1)$$

Si multiplicamos esto por la ganancia mínima:

$$4mA \cdot 170 = 680mA \quad (11.2)$$

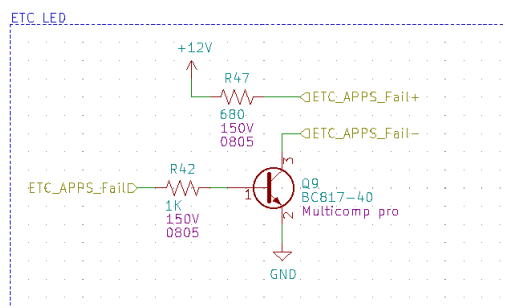
Por lo tanto, si tenemos en mente que por aquí como máximo pasarán 20mA para encender un LED, tenemos suficiente saturación.

El siguiente bloque indica si hay algún problema con la presión del aceite:



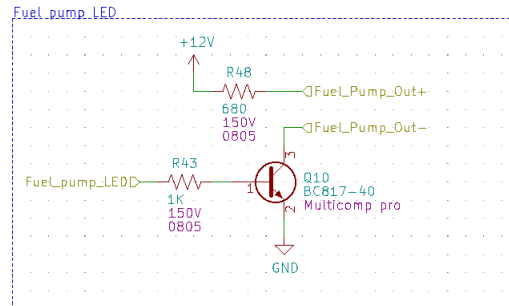
- **Transistor Q13** Ver Q12 en el primer bloque.
- **Resistencia R52** Ver R51 en el primer bloque.
- **Resistencia R46** Ver R45 en el primer bloque.

El siguiente bloque indica si hay algún problema con el sistema del acelerador electrónico:



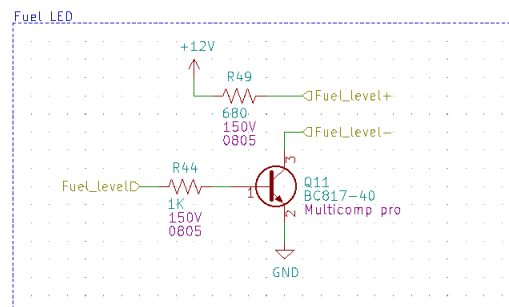
- **Transistor Q9** Ver Q12 en el primer bloque.
- **Resistencia R47** Ver R51 en el primer bloque.
- **Resistencia R42** Ver R45 en el primer bloque.

El siguiente bloque indica si la bomba de gasolina está activa:



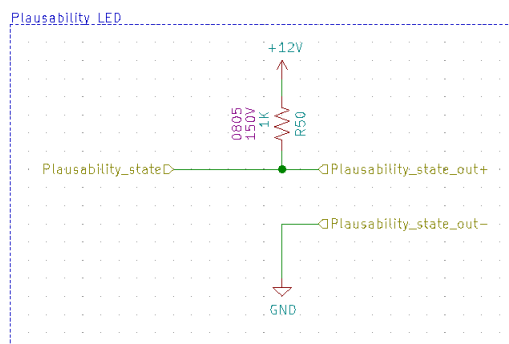
- **Transistor Q10** Ver Q12 en el primer bloque.
- **Resistencia R48** Ver R51 en el primer bloque.
- **Resistencia R43** Ver R45 en el primer bloque.

El siguiente bloque indica si queda poco combustible en el deposito:



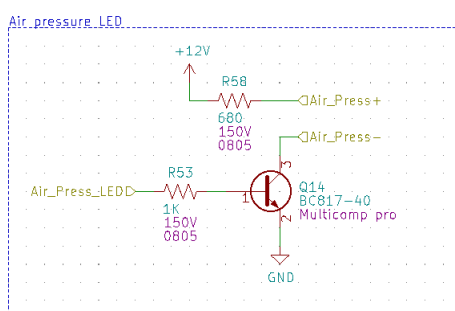
- **Transistor Q11** Ver Q12 en el primer bloque.
- **Resistencia R49** Ver R51 en el primer bloque.
- **Resistencia R44** Ver R45 en el primer bloque.

El siguiente bloque proviene directamente del *plausability*, y es un LED que indica el estado de este (Cuando está conectado y funcionando, la entrada del *plausability* se conecta a masa, apagando el LED). Simplemente se hace pasar por esta placa para que quede todo concentrado en el mismo sitio.



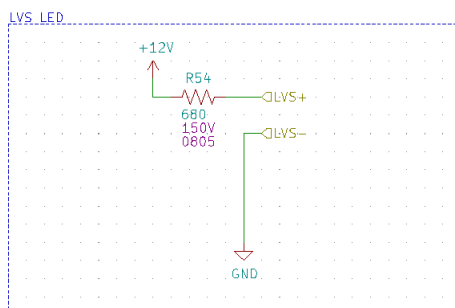
- **Resistencia R50** Esta resistencia es un *pull-up* que mantendrá el LED encendido si se desconecta el *plausability*.

El siguiente bloque indica si queda poco aire en el calderín de aire comprimido:



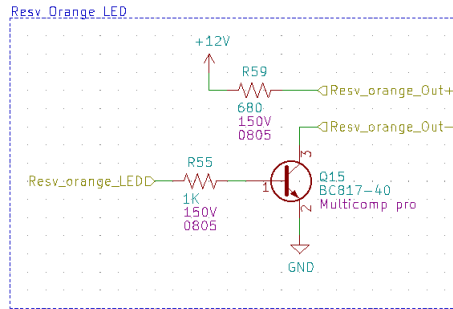
- **Transistor Q14** Ver Q12 en el primer bloque.
- **Resistencia R58** Ver R51 en el primer bloque.
- **Resistencia R53** Ver R45 en el primer bloque.

El siguiente bloque indica si hay tensión en la electrónica del coche:



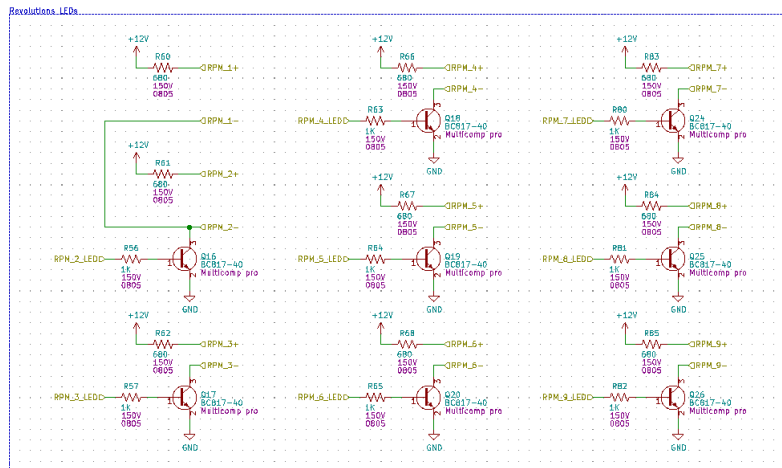
- **Resistencia R54** Ver R51 en el primer bloque.

El siguiente bloque se utilizará para indicar errores durante las fases de prueba del coche. Como es únicamente un LED de prueba, se podrá utilizar para cualquier otro fin (Como enviar información a la centralita o activar algún tipo de relé externo).



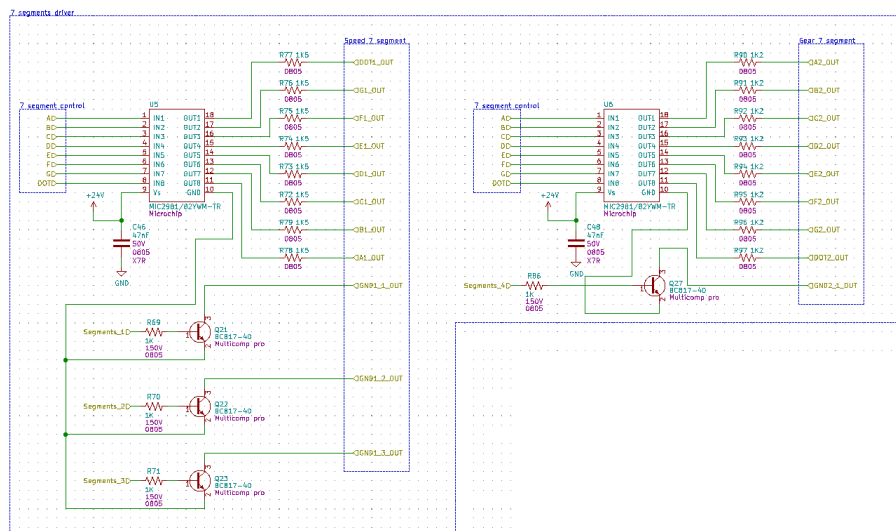
- **Transistor Q15** Ver Q12 en el primer bloque.
- **Resistencia R59** Ver R51 en el primer bloque.
- **Resistencia R55** Ver R45 en el primer bloque.

A continuación se muestran los LEDs dedicados a mostrar las revoluciones. Se debe de tener en cuenta que los dos LEDs que indican cuando las revoluciones están mas abajo, están conectados conjuntamente. De esta manera hemos ahorrado un integrado extra en el sistema de serie/paralelo.



- **Transistor Q16, Q17, Q18, Q19, Q20, Q24, Q25, Q26** Ver Q12 en el primer bloque.
- **Resistencias R60, R61, R62, R66, R67, R68, R83, R84, R85** Ver R51 en el primer bloque.
- **Resistencia R56, R57, R63, R64, R65, R80, R81, R82** Ver R45 en el primer bloque.

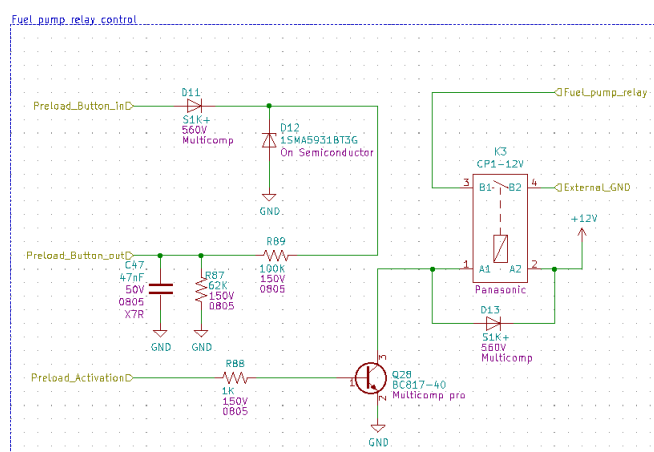
Justamente encima de ellos tenemos el sistema de 7 segmentos: Este bloque es el que se encarga de ir iluminando los LEDs que muestran de forma numérica información al piloto (Marcha actual y temperatura del refrigerante):



En primer lugar debemos de fijarnos que hay dos salidas que van hacia los siete segmentos: La parte de la izquierda tiene resistencias mas altas porque servirán para hacer funcionar lo LEDs que indican la temperatura. En cambio los de la derecha servirán para mostrar la marcha actual del coche. Esto se hace así para que pase mas intensidad por el LED de marcha (que es algo que el piloto puede ir mirando a menudo) que por el indicador de temperatura de refrigerante (que es algo que puede mirar muy puntualmente y siempre lo hará cuando no vaya a mucha velocidad). La idea de este bloque es conseguir minimizar la utilización de patas del microcontrolador. Si nos fijamos, hay un total de 4 transistores en este bloque. Cada uno de ellos está conectado al cátodo común de cada uno de los siete segmentos. La idea es ir activándolos por turnos, de manera que a pesar de que ninguno de ellos esté encendido de una manera constante, al piloto le dé la sensación de que están encendidos. Los componentes de este bloque son los siguientes:

- **Integrado U5, U6** Estos dos integrados hacen el mismo trabajo que harían los transistores, pero se han puesto estos integrados por el hecho de que podría darse el caso de que se cambien los siete segmentos a algunos que requieran mas potencia, por lo que gracias a estos integrados podríamos dar hasta 500mA sin tener que hacer pasar mucha intensidad por las bases de los transistores (Haciendo que el integrado que controlara los siete segmentos no pueda dar tanta intensidad). El único problema serían las resistencias, que se deberían de cambiar por algunas de mas potencia, pero la huella se ha hecho suficientemente grande como para que se pueda poner un encapsulado 1206. También, en el caso de que el siete segmentos funcione de otra manera, esta huella se puede cortocircuitar.
- **Resistencia R69, R70, R71, R86** Ver R51 en el primer bloque.
- **Transistor Q21, Q22, Q23, Q27** Ver Q12 en el primer bloque. Estos son los transistores que se irán alternando, por lo que nunca habrá mas de uno encendido a la vez. En el caso de que se cambiara el siete segmentos por uno de mucha mas intensidad, este transistor se debería de cambiar (Este como maximo aguanta 500mA).

- Por ultimo, la ultima parte es la que trata el botón de precarga, y activa el relé que inicia la bomba de gasolina:



- **Diodo D11** Este diodo evitará tensión inversas. Aquí es donde se conecta el botón de precarga, y cuando se activa proporciona 12V.
- **Diodo D12** Es un zener de 18V que servirá para evitar picos provenientes de otros sistemas. Este diodo no haría falta, pero se ha colocado por si deciden cambiar el botón de precarga en un sitio mas cercano al motor y se generan picos de tensión.
- **Resistencia R89** Esta resistencia está haciendo un divisor de tensión junto con la resistencia R87. De esta manera convertimos los 12V en 5V.
El voltaje sería:

$$12V \cdot \frac{62K\Omega}{62K\Omega + 100K\Omega} = 4.59V \quad (11.3)$$

- **Resistencia R87** Esta resistencia es la otra parte del divisor de tensión junto con la R89.
- **Condensador C47** Este condensador sirve para filtrar altas frecuencias.
- **Resistencia R88** Ver R45 en el primer bloque.
- **Relé K3** Este relé se encargará de activar la bomba de gasolina. Se debe tener en cuenta que es un relé que aguanta hasta 20A, pero en este caso simplemente se utilizará para activar otro relé externo, por lo que no llegaremos a ese valor nunca. Se ha elegido este relé porque es el mismo que se utiliza en otro sistema (El del acelerador electrónico) y de esta manera únicamente debemos de tener una referencia para comprar relés.

- **Diodo D13** Este diodo se utiliza para evitar el pico de tensión inversa al parar la alimentación a la bobina del relé. Se ha utilizado la misma referencia que el resto de diodos que hacen este mismo trabajo.
- **Transistor Q28** Ver Q12 en el primer bloque. En este caso, la bobina del relé K3 solo consume 53.3mA, por lo que no tendremos ningún tipo de problema con la saturación del transistor.

12 Sistema de ETC

Este sistema es el encargado de dar la potencia al sistema del acelerador electrónico, recibir las señales asociadas a el, y activar los sistemas de seguridad que cortan la alimentación eléctrica de partes del coche.

Esta es una parte muy critica del coche, ya que se trata de algo que va a estar directamente relacionado con la entrada del aire al motor, y un fallo en esta parte nos puede resultar en que el motor se quede con el motor acelerando al máximo, poniendo en peligro al piloto y al coche. En esta parte del proyecto será donde mas deberemos de tener en cuenta el reglamento de la Formula Student, ya que una gran parte de la seguridad de nuestra electrónica está concentrada en esta parte. Las características que debe de cumplir son las siguientes:

- **Enviar la señal de potencia a la mariposa electrónica** La mariposa electrónica tiene un motor de corriente continua que permite el paso de aire al motor. Este sistema tendrá el control de potencia para que el microcontrolador lo controle.
- **Adaptación de sensores de TPS y ETC** En total se implementarán cuatro sensores: Dos de *TPS* y dos de *ETC*. Estos sensores pasarán por un circuito compatible para que se puedan conectar al microcontrolador.
- **Activación de la seguridad** Este sistema tendrá dos activadores (uno externo y otro interno) que servirán para cortar la alimentación de la mariposa y del motor en caso de fallo.

El esquema de bloques de la electrónica sería el siguiente:

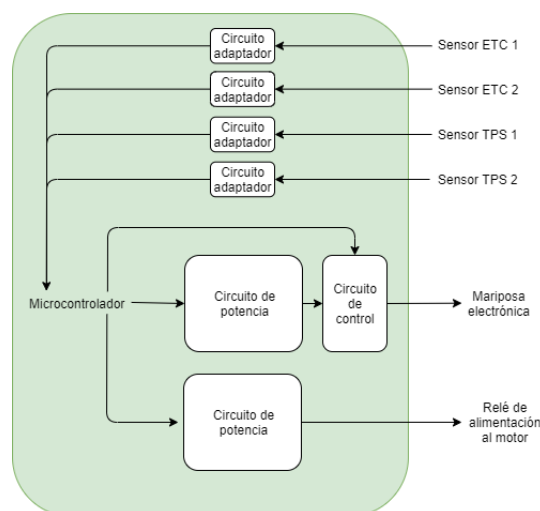
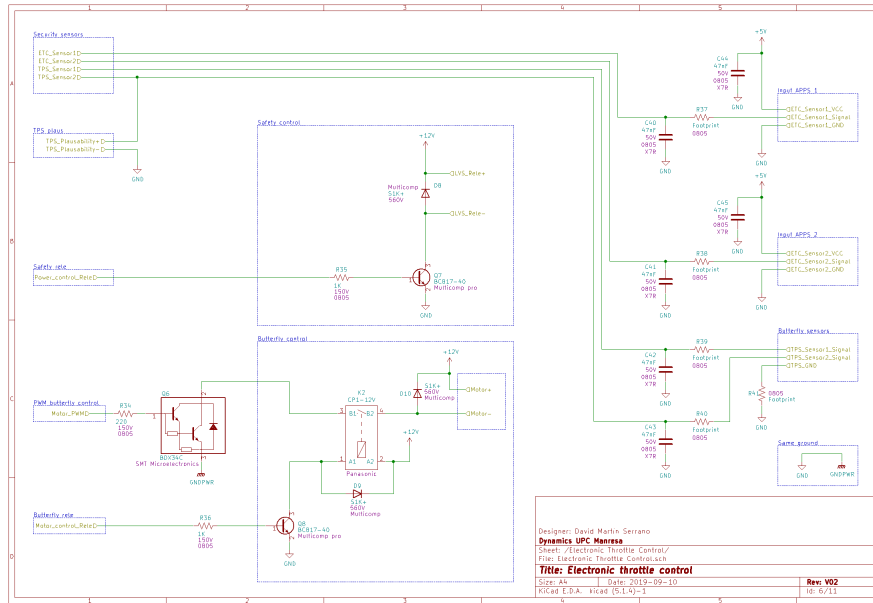


Diagrama de bloques del sistema de ETC

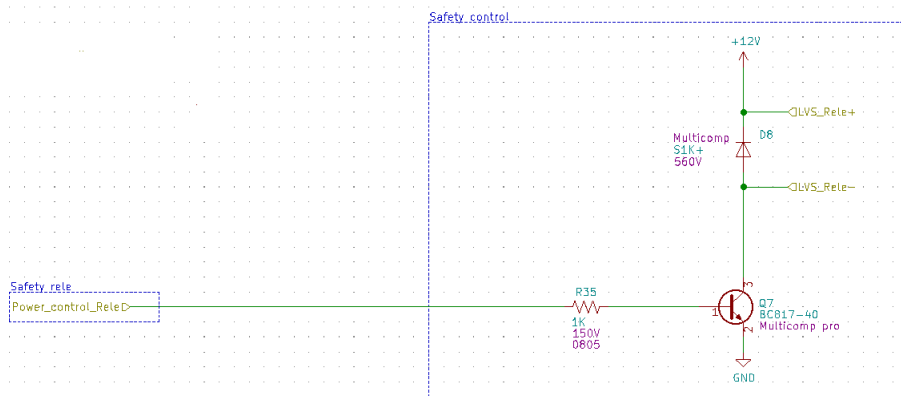
12.1 Diseño electrónico

Este bloque es uno de los mas importantes de la electrónica, en el se implementan las seguridades y se envían y reciben las señales del acelerador electrónico:



Visión general del sistema del ETC

Debemos de tener en mente que este bloque se ha diseñado teniendo en mente los requisitos que solicita el reglamento de la formula student. Por bloques, podemos ver que el primero lo que hace es controlar un relé que sirve para activar la seguridad cuando detectan cortocircuitos o cualquier tipo de fallo relacionado con fallos de conexión:

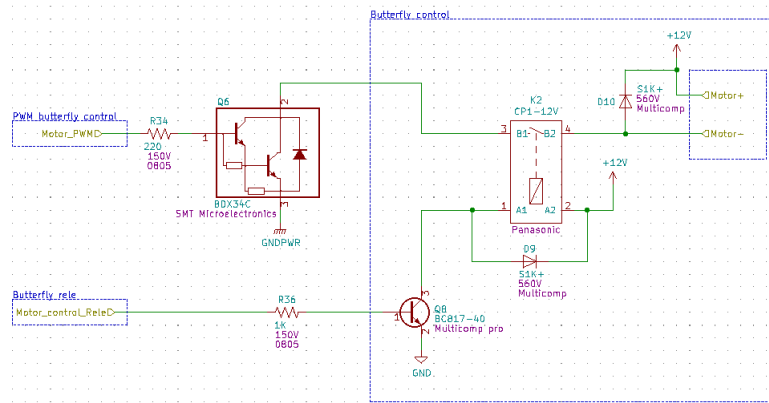


En esta parte tenemos los siguientes componentes:

- **Resistencia R35** Ver R45 en bloques anteriores.
- **Transistor Q7** Ver Q28 en bloques anteriores.

- **Diodo D8** Este diodo es el que se ha puesto en todas las partes de este proyecto para evitar los picos de las bobinas.

El siguiente bloque es el que se encarga de dar la alimentación a la mariposa que permite el paso del aire al motor. Recordemos que por cuestiones de seguridad, debemos tener la posibilidad de quitar la alimentación a la mariposa:



Los componentes son los siguientes:

- **Resistencia R36** Ver R45 en bloques anteriores.
- **Transistor Q8** Ver Q28 en bloques anteriores.
- **Diodo D9** Ver diodo D8 en bloque anterior.
- **Relé K2** Este es el relé que se encargará de cortar la alimentación de la mariposa en el caso de que el microcontrolador detecte que hay algún problema. La mariposa que nos dejaron de prueba consumía unos 8A cuando la dejábamos conectada en tensión continua de 12V. Por lo tanto, hemos seleccionado este relé de referencia CP1-12V, que permite hasta 20A de intensidad en la parte de potencia. De todos, debemos de tener en cuenta que esta intensidad no es constante, porque no estaremos siempre aplicando tensión a la mariposa.
- **Diodo D10** Ver diodo D8 en bloque anterior.
- **Transistor Q6** Este transistor NPN de tipo *Darlington* de referencia BDX34C y de marca *SMT Microelectronics*. Si miramos su mínima ganancia en continua tenemos el siguiente H_{fe} :

h_{FE}^*	DC Current Gain	$I_C = 3 \text{ A}$	$V_{CE} = 3 \text{ V}$	750
------------	-----------------	---------------------	------------------------	-----

Como podemos ver, es una ganancia de 750 en continua. Nosotros no aplicaremos continua, pero aplicaremos una frecuencia muy baja (1KHz). A continuación calculamos la tensión que caerá entre la base y el colector:

V_{BE}^*	Base-emitter Voltage	$I_C = 3 \text{ A}$	$V_{CE} = 3 \text{ V}$	2.5	V
------------	----------------------	---------------------	------------------------	-----	---

Por lo tanto, si sabemos que el microcontrolador dará un voltaje de 5V, tenemos que calcular la intensidad que pasará en la base (Teniendo en mente que la resistencia en la base es de 220Ω :

$$\frac{5V - 2.5V}{220\Omega} = 11.3mA \quad (12.1)$$

Si multiplicamos esta intensidad por el H_{fe} en continua:

$$11.3mA \cdot 750 = 8.475A \quad (12.2)$$

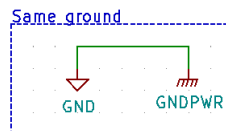
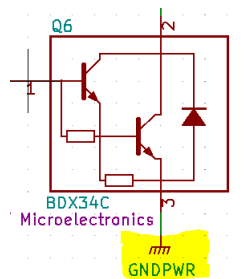
Recordemos que este transistor estará accionado por el microcontrolador. En la página 813 del datasheet del PIC18F67K40 nos aparece cual es la máxima intensidad en un pin de GPIO:

Maximum current		
• on V_{SS} pin ⁽¹⁾	$-40^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$	350 mA
	$85^{\circ}C < T_A \leq +125^{\circ}C$	120 mA
• on V_{DD} pin ⁽¹⁾	$-40^{\circ}C \leq T_A \leq +85^{\circ}C$	350 mA
	$85^{\circ}C < T_A \leq +125^{\circ}C$	120 mA
• on any standard I/O pin		± 50 mA

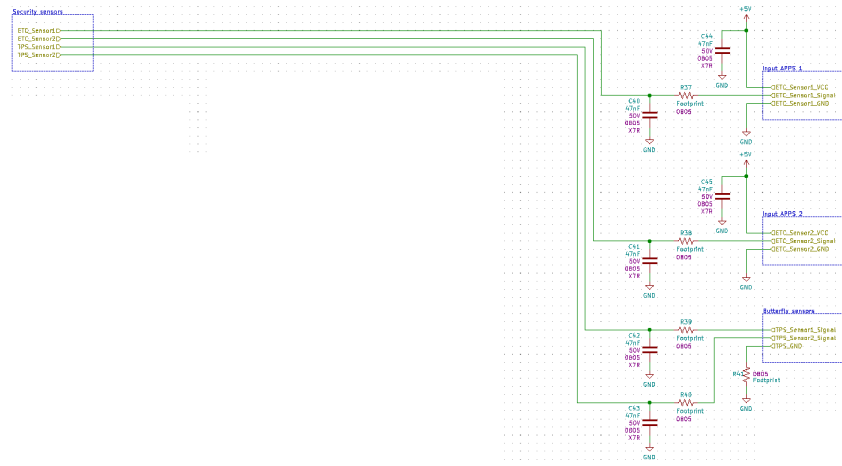
Como podemos ver, a pesar de que sea el máximo valor, 11.3mA no llega ni a una cuarta parte de ese valor.

- **Resistencia R34** Esta resistencia es la que limita la intensidad que pasa por la base del transistor Q6.

Como puntualización, tenemos que observar que el transistor no está conectado a la masa normal. Está conectado a una masa de potencia. A pesar de que estas dos masas estén conectadas y sean el mismo punto, se ha querido indicar de esa manera para que se vea que cuando diseñemos la PCB, estas dos partes deberían de mantenerse separadas y simplemente juntarse en una zona concreta (Ver apartado de *Circuito impreso* para mas información). De esta manera evitaremos que toda la intensidad que pasa por la mariposa afecte a las señales del microcontrolador.



Finalmente, tenemos el bloque de los sensores que reciben la información para controlar el acelerador electrónico:



Los componentes son los siguientes:

- **Condensadores C44, C40, C45, C41, C42, C43** Estos condensadores sirven para filtrar altas frecuencias.
- **Resistencias R37, R38, R39, R40** Estas resistencias están colocadas por si hace falta algún tipo de filtrado extra. En el caso de que no se necesiten, se hará un cortocircuito entre sus extremos.

13 Sistema de serie a paralelo

Este sistema no es un sistema externo, si no que es una adaptación interna que nos permitirá controlar muchas salidas con el minimo de patas del microcontrolador. Este sistema se encarga de convertir la información que enviamos de manera serie a algo que se coloca de forma paralela. Con esto, a pesar de que podemos manejar ilimitadas salidas, tenemos la desventaja de que la velocidad de respuesta por cada una de ellas se reduce contra mas información debemos enviar en serie. De todas maneras, este circuito estará previo al sistema del salpicadero, y debemos de tener en mente que los LEDs que indican errores como mucho se iluminarán una vez por carrera (y no es grave que tarde unos pocos milisegundos mas en visualizarse el LED).

El esquema de bloques de la electrónica sería el siguiente:

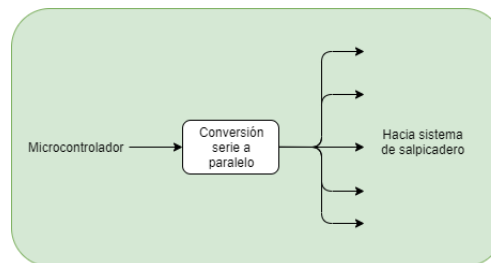
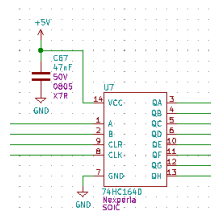


Diagrama de bloques del sistema de serie a paralelo

13.1 Diseño electrónico

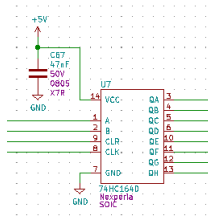
Este sistema tiene únicamente dos bloques. La parte de control de los LEDs de las revoluciones es la siguiente:



Los componentes son los siguientes:

- **C67** Este es un condensador de desacoplo.
- **U7** Integrado que sirve para transferir datos de manera serie y colocarlas en paralelo. Envía la información hacia los controles de los LEDs de las revoluciones.

La segunda parte del sistema gestiona los LEDs que indican errores y los valores de los siete segmentos. En esta parte tenemos a los dos registros paralelos conectados en serie, de manera que utilizando una única línea de datos, podamos controlar hasta 16 LEDs.



Los componentes son los siguientes:

- **C68, C69** Condensadores de desacoplo.
- **U8** Integrado de conversión de serie a paralelo. Sus salidas comunican con la parte que muestra el numero en los siete segmentos.
- **U9** Integrado de conversión de serie a paralelo. Sus salidas comunican con la parte que muestra el estado de los LEDs de errores. Su entrada de datos es la salida de mas peso en el integrado U8.

14 Sistema del microcontrolador

Esta parte de la placa será la que gestionará toda la información del proyecto. Consistirá en un microcontrolador que leerá, procesará y enviará toda la información necesaria.

El esquema de bloques sería el siguiente:

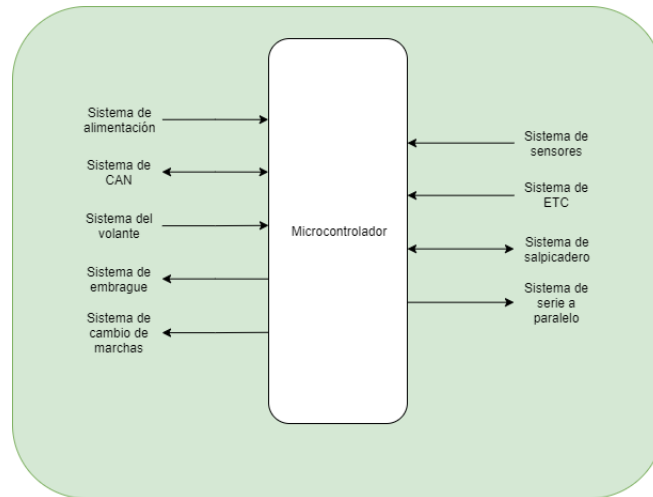


Diagrama de bloques del microcontrolador

14.1 Diseño electrónico

Este sistema únicamente está formado por un integrado. Sus componentes son los siguientes:

- **C70, C71** Condensadores de desacoplo que estarán lo mas cerca posible del microcontrolador.
- **U13** Este es el microcontrolador que gestionará todos los datos de nuestro proyecto. Se ha escogido este porque era el mas rápido y barato de lo que tenían al menos 4 líneas de PWM y que tenían 64 pines.

Sus pines están conectados de la siguiente manera:

- **Pin 1** Entrada B del registro serie a paralelo que controla las revoluciones.
- **Pin 2** Entrada A del registro serie a paralelo que controla las revoluciones.
- **Pin 3** Reloj de los registros serie a paralelo.
- **Pin 4** Entrada CLR del registro serie a paralelo que los siete segmentos y los errores.
- **Pin 5** Entrada B del registro serie a paralelo que los siete segmentos y los errores.
- **Pin 6** Entrada A del registro serie a paralelo que los siete segmentos y los errores.
- **Pin 7** Señal de la suspensión 1. También forma parte del bus para programar el microcontrolador.

- **Pin 8** Control del siete segmentos que controla la indicación de la marcha.
- **Pin 9** Masa.
- **Pin 10** Alimentación de 5V.
- **Pin 11** Control del siete segmentos que controla la indicación de las centenas de la temperatura del refrigerante.
- **Pin 12** Control del siete segmentos que controla la indicación de las decenas de la temperatura del refrigerante.
- **Pin 13** Control del siete segmentos que controla la indicación de las unidades de la temperatura del refrigerante.
- **Pin 14** Señal de la presión del aceite.
- **Pin 15** Señal de la temperatura del aceite.
- **Pin 16** Control del relé de seguridad del motor de la mariposa.
- **Pin 17** Sensor del embrague hidráulico.
- **Pin 18** Señal de la suspensión 4.
- **Pin 19** Señal del sensor 2 de la posición de la mariposa.
- **Pin 20** Señal del sensor 2 de posición del pedal del acelerador.
- **Pin 21** Señal de la rueda 4.
- **Pin 22** Señal de la rueda 3.
- **Pin 23** Señal de tercera marcha activa.
- **Pin 24** Señal de segunda marcha activa.
- **Pin 25** Señal de punto muerto activo.
- **Pin 26** Señal de la rueda 2.
- **Pin 27** Señal del sensor 1 de posición de pedal del acelerador.
- **Pin 28** Señal del sensor 1 de la posición de la mariposa.
- **Pin 29** Señal de la rueda 1.
- **Pin 30** Señal del estado de seguridad de la placa del *plausability*.
- **Pin 31** Señal de *cutoff* para la centralita.
- **Pin 32** Señal de paquete recibido del módulo CAN.
- **Pin 33** Señal de *buffer* vacío para enviar del módulo CAN.
- **Pin 34** *Data input* del bus SPI.
- **Pin 35** Reloj del bus SPI.
- **Pin 36** *Data out* del bus SPI.
- **Pin 37** Señal de la suspensión 2. También forma parte del bus para programar el microcontrolador.
- **Pin 38** Alimentación a 5V.
- **Pin 39** Señal de la posición de pedal de freno.

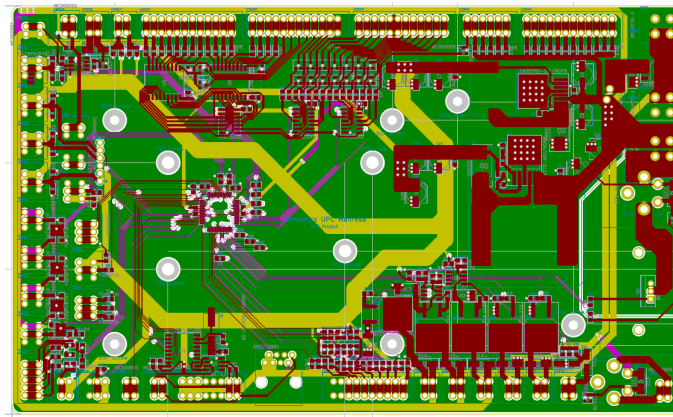
- **Pin 40** *Chip select* del bus SPI. Activa el módulo CAN.
- **Pin 41** Masa.
- **Pin 42** Señal de la suspensión 3. También forma parte del bus para programar el microcontrolador.
- **Pin 43** Señal de configuración del freno en la placa del *plausability*.
- **Pin 44** Señal de la posición del acelerador.
- **Pin 45** Señal de configuración del acelerador en la placa del *plausability*.
- **Pin 46** Sensor del depósito de gasolina.
- **Pin 47** Sensor de presión del calderín de aire comprimido.
- **Pin 48** Leva del embrague en el volante.
- **Pin 49** Botón 3 del volante.
- **Pin 50** Botón de bajar marcha del volante.
- **Pin 51** Botón de subir marcha del volante.
- **Pin 52** Botón 4 del volante.
- **Pin 53** Señal de activación de la bomba de gasolina.
- **Pin 54** Botón 2 del volante.
- **Pin 55** Señal de activación de la precarga desde el salpicadero.
- **Pin 56** Botón 1 del volante.
- **Pin 57** Activación de subir marcha al cilindro neumático.
- **Pin 58** Activación de bajar marcha al cilindro neumático.
- **Pin 59** Control del relé de seguridad de señales críticas.
- **Pin 60** Control de caudal de salida al cilindro del embrague.
- **Pin 61** Control del motor de la mariposa.
- **Pin 62** Control de caudal de entrada al cilindro del embrague.
- **Pin 63** Control de caudal a la entrada del sistema de cambio de marchas.
- **Pin 64** Entrada CLR del registro serie a paralelo que controla las revoluciones.

15 Circuito impreso

El diseño de la placa de circuito impreso *PCB* se ha realizado con el mismo programa que con el que se han diseñado los esquemáticos.

Esta placa irá colocada en la parte derecha del coche, justo entre las ruedas. Se ha elegido esa posición porque a nivel mecánico es donde menos molesta y donde el calor no es un problema. Además, irá introducida en una caja con la que compartirá sitio con al menos una placa mas: el *plausability*. De todos modos también es posible que comparta caja con alguna electrónica mas.

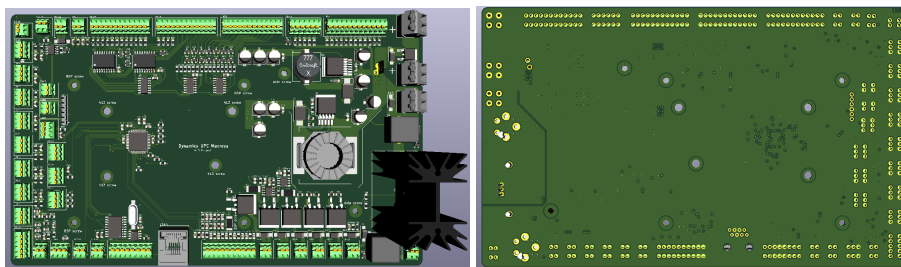
La placa se ha realizado a cuatro capas y se ha fabricado con un grueso de cobre de dos onzas. Su tamaño es de 134mm por 220mm. El resultado final ha sido el siguiente:



Diseño de la placa de circuito impreso

La imagen en tres dimensiones es la siguiente:

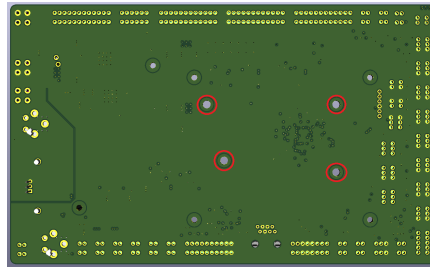
Nota: Los componentes deben de tomarse únicamente como referencia



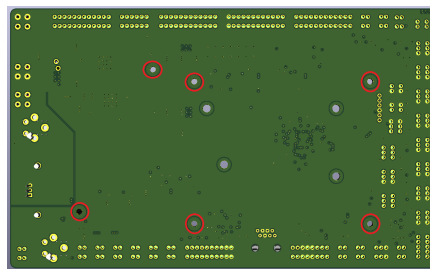
Vista superior e inferior en tres dimensiones

Hay varios puntos que se han tenido en cuenta a la hora de diseñar esta placa:

- **Conectores fácilmente accesibles** Si nos fijamos en el diseño, la gran mayoría de conectores están ubicados en la zona exterior de la placa. Esto facilita el conexcionamiento de los cables y permite que la persona que esté realizando el cableado del coche no se moleste con cables cruzados.
- **Agujeros para collar a la caja** Hemos colocado cuatro agujeros para poder collar nuestra placa. A pesar de que los agujeros no están colocados en los extremos de la placa, hemos de tener en cuenta que todo eso irá colocado dentro de una caja y no se espera que reciba ningún tipo de estrés debido a tensiones en sus cables.



- **Agujeros de soporte de otras placas** Se han colocado un total de seis agujeros con las medidas de otras posibles placas para que sea posible colocarlas encima de la nuestra y se pueda compactar todo de una mejor manera. Estas placas no estarán ubicadas encima de ningún conector.



- **Protección a la masa de las señales** Recordemos que el motor de la mariposa requiere una gran intensidad para funcionar, por lo tanto sería posible que esta intensidad pudiera causar una caída de tensión en la línea de masa y afectara a la señal de poco voltaje de nuestras señales. Para evitar eso, a parte de colocar la parte del motor lo mas cercano posible a la mariposa, se ha realizado la siguiente modificación a la masa:



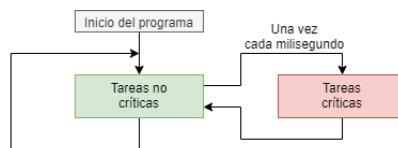
De esta manera, la alta intensidad retornará directamente a la alimentación y evitaremos que el resto de la masa por la que pasan las señales se vea afectada.

16 Firmware

Por ultimo, comentaremos los apartados que hemos tenido en cuenta a la hora de realizar la programación del microcontrolador. No comentaremos cada línea de código, puesto que el programa ya está comentado línea a línea con su funcionamiento, pero daremos unas guías para poder comprender su funcionamiento y explicaremos tanto las cosas que hemos tenido en cuenta, como los problemas que hemos visto durante el desarrollo de este.

Para programar de una manera fácil y cómoda hemos utilizado el programa *MPLABX IDE* y el compilador XC8 de la misma marca. De esa manera hemos aprovechado el propio entorno de programación de la marca *Microchip* para programar su microcontrolador. Esto nos facilita mucho a la hora de programar y probar los programas, puesto que disponen de una herramienta llamada *PicKit* que es la que nos servirá como puente hacia nuestro sistema. Gracias a esta herramienta podemos incluso probar nuestro programa a tiempo real y ver desde el ordenador como se va ejecutando línea a línea nuestro código. Además, el compilador tiene una versión gratuita que nos permitirá trabajar sin tener que pagar por licencias.

Nuestro programa realizará una interrupción donde gestionará los procesos críticos una vez cada milisegundo. Una vez acabe esos procesos, realizará tareas no urgentes hasta que vuelva a ser llamada por la función de interrupción. Una idea básica sería la siguiente:



16.1 Módulos del código

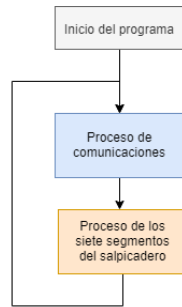
A la hora de escribir el programa de este proyecto se ha modulado su funcionamiento en archivos de código. De esta manera se puede de una manera general que es lo que hace cada parte sin ni siquiera tener que entrar a leer el código. Los bloques son los siguientes:

- **adc.h y adc.c** Este modulo realiza las funciones de inicialización y gestión del periférico conversor de señales analógicas a valores digitales. Entre sus funciones podemos encontrarnos la de inicialización o la de devolver la conversión numérica de un pin analógico.
- **clutch gear.h y clutch gear.c** Este modulo que trata el control del embrague y el cambio de marcha. Entre sus funciones nos encontramos algunas como poner el cambio en modo subir o bajar, o establecer la obertura de las válvulas regulables.
- **config.h** Este *header* nos servirá para establecer dependencias que todos los archivos necesiten.
- **dashboard.h y dashboard.c** Esta parte del código sirve para controlar todo lo relacionado con el salpicadero: encendido de LEDs y gestión del botón de precarga.

- **etc control.h y etc control.c** En esta parte del código que controla el motor de la mariposa. Con el podemos encender o apagar el motor.
- **global variables.h** Definición de las variables globales. Hay momentos en los que debemos de enviar información a través del bus CAN (algo que no es crítico), pero sucede que si realizamos una conversión AD durante el transcurso de algo no crítico y justamente nos aparece una interrupción que hace uso del AD y es crítica, perderemos el primer valor. Por lo tanto, todas las conversiones se realizarán en la parte crítica del sistema y simplemente le enviaremos los valores a través de una variable global de 8 bits (operación única).
- **mcp.h y mcp.c** Este modulo obtiene el nombre de realizar las operaciones del MCP2515 (el modulo de bus CAN). Facilita la interacción con este y resume las funciones a enviar y recibir tramas CAN.
- **pwm.h y pwm.c** Este modulo realiza el control pwm de las válvulas neumáticas de manera que nosotros únicamente tengamos que programar el valor que queremos a la valvula correspondiente.
- **security.h y security.c** Control de los dos relees que controlan la seguridad: tanto del que corta la alimentación del motor como el que corta la de la mariposa.
- **sensors.h y sensors.c** Implementación de funciones que configuran y capturan los sensores no críticos de nuestro sistema.
- **spi.h y spi.c** Esta parte del código implementa las funciones básicas de un bus SPI para que el modulo *mcp* tenga una implementación mas sencilla. Recordemos que el modulo de CAN que tenemos seleccionado realmente es un conversor de SPI a CAN.
- **steering wheel.h y steering wheel.c** Esta parte gestiona todos los accionadores que se encuentran en el volante.
- **system.h** Funciones de programación básica del microcontrolador. Aquí nos encontramos la función de inicializar el oscilador interno.
- **timer interrupt.h y timer interrupt.c** Inicialización y gestión de la interrupción de un milisegundo que tendrá nuestra placa. Esta parte es la mas importante de todo nuestro programa, pues se ejecutará mil veces por segundo y debemos de programarla de manera que todo este código no tarde mas de un milisegundo (Si no, tendríamos problemas con todos los sistemas, pues no daría tiempo a controlarlos todos simultáneamente).
- **main.c** Parte general del programa. Aquí está la primera función que se llama al empezar el programa, y tenemos todas las partes no críticas del sistema (que pueden ser interrumpidas sin tener ningún tipo de problema).

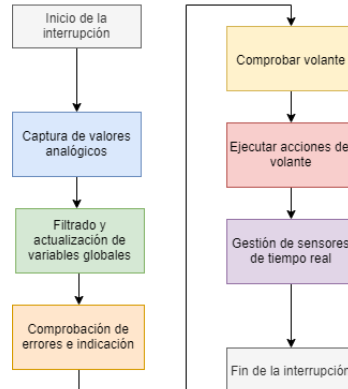
16.2 Funcionamiento en bloques

El *firmware* estará constantemente realizando las funciones básicas en el bloque del *main*. Sus procesos son los siguientes:



- **Inicio del programa** Esta es la parte inicial que únicamente se procesará cuando arranque el sistema. Contiene todas las inicializaciones.
- **Proceso de comunicaciones** En este apartado se pregunta si se ha recibido o si se puede enviar un mensaje por el bus CAN. En caso afirmativo, se realiza el proceso correspondiente. En el caso de que se reciba información se actualizarán las variables globales. En el caso de que se esté enviando información a otro sistema, se puede poner un contador para poder ir enviando *frames* de manera alterna.
- **Proceso de los siete segmentos del salpicadero** Recordemos que únicamente podemos tener un siete segmentos activo a la vez. En esta parte enviaremos la información hacia el siete segmentos elegido y lo activaremos. La interrupción nos servirá de contador para saber cuando tenemos que cambiar de siete segmentos.

Una vez cada milisegundo, nuestro programa se verá interrumpido y deberá ejecutar tareas que deben de ser sincronizadas o que son críticas para el funcionamiento. El diagrama de bloques de la interrupción sería el siguiente:



- **Inicio de la interrupción** En esta parte tenemos el inicio de las variables.
- **Captura de valores analógicos** Leemos los valores de las entradas analógicas. Realizamos todas estas operaciones en la interrupción porque si hiciéramos algún tipo de operación con el conversor analógico/digital fuera de la interrupción, y justamente esta nos saltará durante el proceso, se podría llegar a corromper la información o bloquear el programa.
- **Filtrado y actualización de variables globales** Realizamos un filtrado con las señales obtenidas desde los conversores (simplemente haremos la media con la muestra anterior) y actualizaremos las variables globales para que las podamos usar en la parte del bucle principal.

- **Comprobación de errores e indicación** Realizamos la comprobación de los valores que hemos capturado que sean críticos y actualizaremos las variables globales para que la próxima vez que se actualice el salpicadero se envíen los datos.
- **Comprobar volante** Capturamos los botones del volante para saber si debemos de realizar alguna acción como subir marcha, bajar marcha, actuar sobre el embrague o realizar alguna operación personalizada.
- **Ejecutamos acciones del volante** En esta parte actuaremos sobre las cosas que hayamos informado a través del volante. Lo mas importante es el cambio de marchas y embrague.
- **Gestión de sensores de tiempo real** Hay algunos sensores (como las ruedas) que deben de ser actualizados muy rápidamente para poder saber de que manera están funcionando.

16.3 Puntos importantes a tener en cuenta

A pesar de que la programación pueda parecer sencilla, al estar trabajando directamente sobre un microcontrolador que está trabajando en un sistema que necesita ser rápido, hay que tener mucho cuidado la manera de programar.

Por ejemplo, si ponemos mucho código dentro de la interrupción de un milisegundo, podría darse el caso de que esta cuando acabase, se volviera a llamar inmediatamente. Esto haría que el sistema en ningún momento pudiera transmitir por el bus CAN, ya que nunca daría tiempo a que se realizara el proceso. Además, podría llegar a suceder que la interrupción tardara mucho mas de un milisegundo y tuviéramos que nuestro sistema se comporta de una manera errónea (además de no enviar nada por CAN y no actualizar nunca el salpicadero).

Esta parte se ha realizado con cuidado, pero siempre puede haber modificaciones que se puedan realizar (tanto debidas a cambios de mecánica como cambios en la reglamentación). Por lo tanto, aquí tenemos algunas cosas que hemos tenido en cuenta a la hora de realizar la programación:

- **Evitar trabajar con operaciones en coma flotante** Es muy importante que evitemos trabajar con variables del tipo *float*, puesto que a pesar de tener mucha precisión, ralentizan mucho el programa. En el caso de hacerlas en medio de la interrupción, debemos de asegurarnos de que exactamente necesitamos esa precisión. Un ejemplo es el filtrado que se ha realizado:

```
global_steeringWheelClutch = ( global_steeringWheelClutch >> 1 ) +  
                               ( steeringWheelClutch >> 1 );
```

En esta parte del código estamos actualizando el valor del estado del embrague del volante. Capturamos el valor del conversor analógico digital, y hacemos la media entre la muestra actual y la anterior (de hace un milisegundo). Si lo hiciéramos con variables del tipo *float* este proceso se haría muy largo.

Debemos tener en cuenta que a nivel de procesamiento, dividir entre dos no es mas que rotar hacia la derecha los bits una posición. Esto nos puede llevar a perder el bit menos significativo de información, pero en este caso es algo mínimo que no afecta al sistema, ya que la propia mecánica (las vibraciones del embrague al conducir) genera mas ruido que este error.

- **Problemas de compilador gratuito** Una ventaja grande de poder tener una versión gratuita de compilador es que nos permite trabajar sin tener que gastarnos dinero en licencias. A pesar de que podría ser un gran punto a favor, por contra, cuando generamos el código de maquina de un programa utilizando este compilador, vemos que hay cosas que se podrían mejorar mucho.

Por ejemplo, veamos el caso del filtrado de señales. Nosotros tenemos un tipo de filtrado que realiza la media con la muestra anterior. Ahora imaginemos que tenemos un valor guardado de señal de 203 y la nueva muestra vale 201. Estamos convencidos de que la media nos va a resultar como 202, pero una vez vemos el código maquina que nos genera, aparece lo siguiente:

```
! global_steeringWheelClutch = ( global_steeringWheelClutch >> 1 ) +
0xB0: MOVWF steeringWheelClutch, 0x39
0xB2: NOP
0xB4: BCF STATUS, 0, ACCESS
0xB6: RRCF 0x39, F, ACCESS
0xB8: MOVLB 0x0
0xBA: BCF STATUS, 0, ACCESS
0xBC: RRCF global_steeringWheelClutch, W, BANKED
0xBE: ADDWF 0x39, W, ACCESS
0xC0: MOVWF global_steeringWheelClutch, BANKED
!                                     ( steeringWheelClutch >> 1);
```

Como podemos ver, lo primero que nos hace es rotar los dos números, y a continuación nos los guarda. Por lo tanto, el microcontrolador haría la siguiente operación:

$$201 \gg 1 = 100 \quad (16.1)$$

$$203 \gg 1 = 101 \quad (16.2)$$

Si sumamos $100 + 101$ nos aparece 201. Este no es el resultado que esperábamos. Además, estamos viendo que realiza muchísimas operaciones de movimiento.

Pensando en que trabajamos constantemente en 8 bits, esto se podría solucionar simplemente sumando los dos valores, rotando el resultado una posición, y transferimos el bit de carry al ultimo bit del registro de suma.

```
BCF STATUS, 0
MOVFW steeringWheelClutch
ADDWF global_steeringWheelClutch, W
MOVWF global_steeringWheelClutch
RRCF global_steeringWheelClutch, W, 0
MOVWF global_steeringWheelClutch
```

De esta manera podríamos realizar fácilmente la operación utilizando menos líneas.

Si tuviéramos la versión de pago esto es muy posible que se optimizara, pero al tener el gratuito no podemos realizar ningún tipo de optimización.

- **Controlar las variables globales** Recordemos que estamos en un microcontrolador de 8 bits, y que prácticamente todas sus operaciones de bajo nivel actúan con bloques de 8 bits. Imaginemos que estamos actualizando una variable de 16 bits en la interrupción, pero a su vez, en el bucle principal también se utiliza para enviar a otro sistema. Imaginemos que el valor (en binario) del valor cuando estamos enviando el valor es 0000 0000 1111 1111. Como podemos ver, eso al menos consumirá dos instrucciones de "mover" registro para poder trabajar con ello y ponerlo

en el buffer SPI para enviarlo al MCP. Imaginemos que en primer lugar se envía el byte mas significativo (en este caso 0000 0000)

Imaginemos que mientras se está realizando esta operación aparece una interrupción, que nos actualiza el valor a 0000 0001 0000 0000. Una vez acabada la interrupción con el valor actualizado, el sistema (que recordemos que ya habia enviado un 0000 0000), captura el segundo byte, que ahora será 0000 0000 y lo envia por el CAN.

En este caso estaríamos enviando un valor completamente erróneo al otro sistema.

Para evitar esto, todas nuestras variables globales son de 8 bits. De esta manera, únicamente se capturan una vez en el bucle principal a la hora de procesarlas, y por mucho que las cambie la interrupción sabemos que no va a haber ningún tipo de corrupción.

17 Conclusiones

Este proyecto ha sido curioso de realizarlo. Me ha ayudado a ver como realmente se mueve un grupo de gente que esta diseñando y me ha demostrado que al final el problema no acaba siendo el tener mas o menos conocimientos técnicos: el problema acaba siendo tus ganas de trabajar y tu habilidad de conseguir trabajar en equipo.

Este proyecto no ha sido pensado para únicamente ser entregado. La idea es que los próximos años del equipo de *Dynamics* puedan utilizar este diseño y les sea cómodo poder empezar desde esta base.

Hemos de admitir que esta tal vez sea una frase muy utilizada: "He diseñado este proyecto esperando que lo mejoren otros en un futuro". Es mas: También debemos de pensar que cuando alguien nuevo llega al equipo de *formula student*, lo primero que quiere es ponerse un reto y diseñar algo con sus propias manos. Por lo tanto, a pesar de que me gustaría que esto se utilizara los siguientes años no puedo estar seguro de ello.

Como resumen de la conclusión final podría comentar:

Con este trabajo he podido ver que a veces, por muchos conocimientos técnicos que tengas, hay requerimientos en los proyectos que escapan de ese ámbito. Por lo tanto, para estar realmente preparados debemos de saber adaptarnos a todo tipo de momentos, situaciones y trabajos.

18 Trabajo futuro

A continuación presentamos unos pocos puntos que se podrían mejorar:

- **Cambiar sensores resistivos** Recordemos que estamos trabajando con un coche y que es posible que haya una gran cantidad de transitorios a través de las líneas de comunicación y alimentación de nuestro circuito.
Capturar sensores resistivos en estas condiciones puede llegar a resultar en posibles falsas señales que pueden provocar resultados erróneos. A pesar de que para eso hemos realizado un pequeño filtrado tanto a nivel de *hardware* como a nivel de *software*, hemos de admitir que no es la mejor de las ideas. Aconsejaría poner sensores que funcionen de alguna manera digital.
- **Definir bien los sensores** Hay partes de este circuito que se han pensado para que sean adaptables en el caso de que se tenga que cambiar de sensor por problemas externos a la electrónica. Este punto tal vez no sea del todo técnico, puesto que es muy recomendable que para el futuro, la persona que se dedique a la electrónica del coche tenga el suficiente conocimiento técnico y social para elegir sensores y no permitir que se los cambien durante el diseño de este.
- **Mejorar el firmware** El firmware puede ser mejorado en algunos sentidos: Hay algoritmos que podrían ser mejorados y se podría compilar este con un compilador que permitiera mas optimización. De esta manera conseguiríamos que la interrupción fuera mas rápida y pudiera realizar mas comunicaciones por segundo (para el caso de que se añadieran mas sistemas extras al bus CAN).
- **Implementar nuevos sistemas** Hay sistemas (como un acelerómetro) que no se han implementado este año. Sería adecuado partir de esta electrónica como base, y conseguir implementar mas funciones para poder hacer pruebas al coche.
- **Cálculos de consumo** A pesar de que se han obviado los consumos de la electrónica (Únicamente la mariposa, ya consume muchas veces mas que el hardware de control), sería aconsejable calcularlos o al menos, realizar una prueba con un amperímetro mientras solo funciona el sistema base de control.

Bibliografía

- [1] AN2689 - Protection of automotive electronics from electrical hazards *STMicroelectronics*. Octubre, 2012.
- [2] SLVA139 - Reverse Current/Battery Protection Circuits *Texas Instruments*. Junio, 2003.
- [3] SNVA780 - Designing High Performance, Low-EMI Automotive Power Supplies *Texas Instruments*
<http://www.hrpublish.org/download/20140305/UJEEE1-14900843.pdf> Setiembre, 2017.
- [4] Un exemple de TFG Composició, ortipografia i tipografia. *Berenguer de Cruilles*. Octubre, 2019.
https://ocwitic.epsem.upc.edu/assignatures/tfg/format-de-la-memoria/documentacio-del-format/at_download/file
- [5] Calculadora filtro paso bajo *Learning about electronics*.
<http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Calculadora-de-filtro-paso-bajo.php>
- [6] Formula Student Rules 2020 (Inglés)
https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2020/rules/FS-Rules_2020_V1.0.pdf
- [7] Designing Microcontroller Systems For Electrically Noisy Environments *Intel*
<https://ecee.colorado.edu/~mcclurel/iap125.pdf> Diciembre, 1993.
- [8] Designing of Automotive Engine Electronic Throttle Controller for EF7 Engine *Mehdi Rostami, Parviz Amiri*
<http://www.hrpublish.org/download/20140305/UJEEE1-14900843.pdf>
- [9] AN9312.5 Suppression of Transients in an Automotive Environment *Littelfuse*
https://m.littelfuse.com/media/electronics_technical/application_notes/varistors/littelfuse_suppression_of_transients_in_an_automotive_environment_application_note.pdf
Julio, 1995.